

Trabajo Final de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión para un hotel.

MEMÒRIA

Autor:	Carlos Duch Balust
Director:	Luis Sainz Sopera
Convocatòria:	Juliol 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



1. Resumen

Este proyecto final de carrera (PFC) tiene como objetivo diseñar y calcular una instalación eléctrica en baja tensión (BT) para un hotel situado en Peralada (Alt Emporda).

El proyecto estudia la instalación eléctrica completa del hotel. Esta incluye dos partes: Instalación interior (iluminación interior, aires acondicionados, cocina, cargas móviles etc.) e instalación exterior (iluminación exterior de jardín, sistema de riego, bombeo para pozos etc.)

Para el diseño de la instalación eléctrica se ha tenido en cuenta la conexión a la red eléctrica pública, la potencia a instalar, la arquitectura de la red, la sección de los conductores y las protecciones contra sobrecargas, cortocircuitos y contactos eléctricos. Además, el proyecto aborda el estudio de la compensación de potencia reactiva de la instalación y el análisis del impacto que las cargas no lineales tienen sobre la calidad del suministro eléctrico (en particular, sobre las distorsiones armónicas en la instalación).

Los cálculos asociados al diseño de la instalación se han realizado mediante el programa EXCEL®. El programa AutoCAD® se ha utilizado para indicar la disposición de cargas en el hotel y el programa EcoDial Advance Calculation de Schneider Electric se ha utilizado para realizar los esquemas unifilares.

La realización del proyecto se ha apoyado en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), y se ha procurado seguir su normativa. El proyecto también sigue la normativa UNE publicada por el instituto de racionalización y la regulación que se utiliza en el REBT. También se ha tenido en cuenta la Norma UNE-EN 50160 sobre las características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.

Realizado el proyecto, el resultado es una instalación eléctrica capaz de satisfacer los requerimientos del hotel y que tenga todas las cualidades necesarias para ser llevado a cabo.

Este proyecto, se encuentra en dos volúmenes, el primero la memoria y el segundo los anexos.

2. Índice

1. Resumen.....	1
2. Índice	2
3. Glosario de símbolos y acrónimos.	4
4. Prefacio.....	5
4.1. Origen del proyecto	5
4.2. El aprendizaje es experiencia	5
5. Introducción	6
5.1. Objetivos del proyecto	6
5.2. Alcance del proyecto	7
6. Emplazamiento y descripción del hotel.....	8
6.1. Establecimiento de las bases.....	12
7. Normativa aplicable	14
8. Instalación eléctrica: descripción y diseño	16
8.1. Arquitectura de la instalación eléctrica.....	16
8.2. Potencia a instalar.....	21
8.3. Determinación de los conductores	37
8.4. Instalación toma tierra	41
8.5. Protecciones en la instalación eléctrica	47
8.5.1. Contra sobrecargas y cortocircuitos (PIAs y ICPs IGs)	47
8.5.2. Contra contactos eléctricos (IDs)	50

8.6.	Conexión de la instalación a la red de BT.....	53
9.	Reducción del factor de potencia	56
10.	Detección y filtrado de armónicos	59
11.	Conclusiones.....	64
12.	Agradecimientos.....	66
13.	Referencias o Bibliografía	67

3. Glosario de símbolos y acrónimos.

- BT: Baja Tensión
- CEI: Comisión Electrotécnica Internacional
- CEP: Conductor Equipotencial
- CES: Conductor Equipotencial Suplementario
- CGBT: Cuadro General de Baja Tensión
- CGP: Caja General de Protección
- CP: Conductor de Protección
- CPM: Caja de Protección y Medida
- CT: Conductor de Tierra
- EN: European Norm
- I_n : Intensidad calibre del interruptor diferencial.
- $I_{\Delta D}$: Intensidad diferencial del interruptor diferencial.
- IDs: Interruptores Diferenciales
- ITC: Instrucción Técnica Complementaria
- K_s : Coeficiente de simultaneidad
- K_u : Coeficiente de utilización
- LGA: Línea General de Alimentación
- PIAs: Pequeños Interruptores Automáticos
- TRMS: Valor eficaz total
- THD: tasa de distorsión armónica.
- UNE: Unión Norma Española
- UNE-EN: Unión Norma Española – European Norm
- UNE-HD: Unión Norma Española- Harmonization Document
- UTM: Universal Transverse Mercator.

4. Prefacio

El Proyecto Final de Carrera (PFC), tiene como objetivo aportar conocimientos y resultados sobre el tema escogido y que de esta manera el estudiante exponga parte de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera. Es por esto que la elección del proyecto por parte del estudiante es muy importante. En este prefacio, se explican las razones que me han llevado a realizar este PFC.

4.1. Origen del proyecto

Este proyecto se origina después de que mi familia decidiese realizar una inversión para poner en funcionamiento un hotel de tipo rural en el Alt Emporda. Con la cantidad de proyectos disponibles para la puesta a punto del hotel, se planteó la oportunidad de realizar un proyecto de instalación eléctrica. Frente a tan buena oportunidad decidí tomar el proyecto y realizarlo como el TFG.

4.2. El aprendizaje es experiencia

Se han realizado muchos trabajos sobre instalaciones eléctricas, por estudiantes, aficionados, profesionales etc. Es un tema que se ha estudiado en profundidad, pero esto no hace menos interesante su elección para el Trabajo Final de Grado (TFG) ya que cumple a la perfección los objetivos con los que se concibe el TFG. Más importante aún, realizar un proyecto de esta índole aporta la valiosa experiencia a un ingeniero para poder ser proyectista. Esta experiencia que el ingeniero adquiere a lo largo del proyecto aporta una formación que la universidad difícilmente puede alcanzar.

Como bien dijo Albert Einstein, “El aprendizaje es experiencia, todo lo demás es información”. Esta es la motivación principal que me ha llevado a realizar este proyecto. Mi segunda motivación es la ilusión de afrontar mi primer proyecto de ingeniería eléctrica.

5. Introducción

La puesta a punto de un hotel supone el desarrollo de un proyecto multidisciplinar: proyecto de la estrategia de negocio a seguir, como decorar y enfocar el estilo del hotel, proyecto de instalación térmica, proyecto del sistema de riego, hasta proyecto de construcción y diseño de los jardines. Dentro de todos estos proyectos se encuentra la instalación eléctrica, que es el objeto de este TFG. Con este proyecto se pretende determinar todos los requerimientos que necesita el hotel desde el punto de vista eléctrico de una manera práctica y eficiente.

A continuación, se procede a explicar de manera concisa los objetivos establecidos para este proyecto y su alcance.

5.1. Objetivos del proyecto

Dentro del objetivo principal de este trabajo se puede distinguir las siguientes tareas:

- Establecer las bases:

El objetivo aquí es conocer la situación actual del hotel en términos de instalaciones eléctricas. Saber si hay algo hecho, en caso afirmativo establecer cómo se procede y establecer en un marco general lo que se pretende de este proyecto. Para este objetivo se ha de conocer el hotel en sí y su entorno, también la gente con la que se trabajará.

- Diseñar la instalación eléctrica
 - Determinar la potencia necesaria de la instalación a partir de los diversos consumos y que dichos consumos, así como los cálculos asociados a ellos se puedan actualizar de manera rápida y eficaz:
Para este objetivo se pretende describir el consumo de potencia eléctrica que tendrá el hotel a partir del conocimiento de las cargas y su cantidad al detalle. Realizar este objetivo correctamente es muy importante ya que determinará la potencia a contratar y los conductores y protecciones escogidos.

- Determinar la disposición de dispositivos en la instalación:
Conocer la posición de todos los dispositivos eléctricos. Buscar eficiencia, estética y economía.
 - Determinación de los conductores:
Elección de conductores, determinación de sus parámetros a partir de los cálculos de corrientes y máxima caída de tensión admisible.
 - Protecciones adecuadas:
Determinar que protecciones y medidas se han de tomar para establecer una instalación segura que cumpla con los requisitos.
- Funcionamiento y eficiencia
 - Estudio del factor de potencia de la instalación
Valorar si es necesario corregir el factor de potencia de la instalación eléctrica, y en caso de serlo proponer que solución implementar.
 - Estudio del efecto de los armónicos en la instalación
Realizar un análisis del efecto de los armónicos en la instalación. En caso de no estar acabada la instalación eléctrica, explicar cómo se procedería con el análisis.

5.2. Alcance del proyecto

Este proyecto estudia estrictamente la instalación eléctrica. No se pretende estudiar los temas que derivan de realizar el proyecto, como puede ser estudio de los riesgos laborales, impacto medioambiental de la instalación o detalles puramente constructivos. Es decir, el TFG aborda todo lo que está directamente relacionado con un proyecto de una instalación eléctrica.

6. Emplazamiento y descripción del hotel.

El hotel está ubicado a las afueras de Peralada, un municipio español situado en la comarca catalana del Alt Emporda de la provincia de Gerona. En el plan especial – catálogo de masías i casas rurales del ayuntamiento de Peralada, podemos encontrar un breve documento en el que se resume el objeto de este apartado. El documento consta de una breve descripción de la masía, la justificación de la recuperación i preservación de la masía, las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) de la masía y sus posibles usos, dentro de los cuales incluye la actividad hotelera. Este documento lo podemos encontrar en el Anexo A.3



Figura 6.1: Imagen de Google Maps, localización del hotel resaltado en rojo.

En la figura 6.1 podemos apreciar la localización del hotel en relación al pueblo de Peralada, desde el punto de vista de negocio es interesante tener actividades cerca como las que puede ofrecer el pueblo.

La figura 6.2 muestra la localización del hotel en el término municipal de Peralada, de esta manera nos ubicamos a mayor escala.

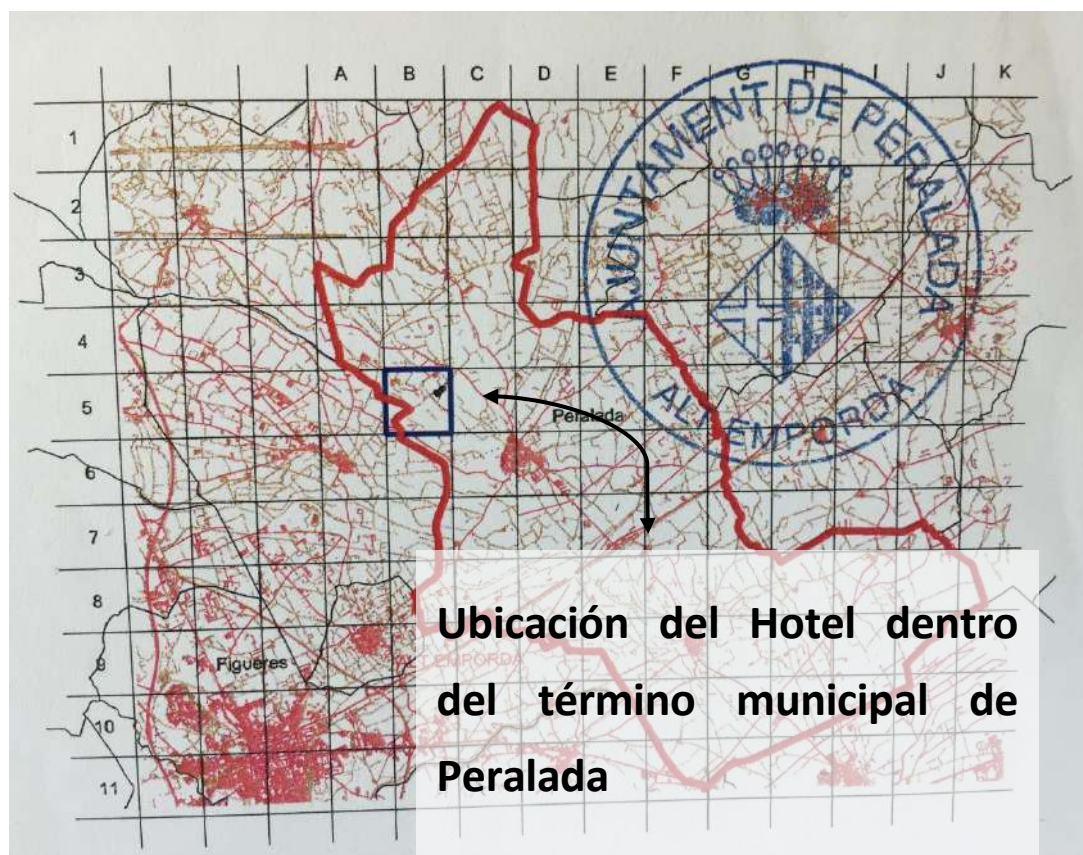


Figura 6.2: Ubicación del hotel en el Alt Emporda¹

El hotel consta de dos edificios, estos se llaman La Masia y el Anexo. La Masia es el edificio principal, construido en dos etapas, la primera construcción Zona A de La Masia data del siglo XVI, la zona B, es de construcción más reciente y data del 1980. Estas dos partes se han unificado entre si en perfecta armonia y no se puede distinguir a nivel constructivo ni de diseño que son dos partes distintas. La zona A de La Masia consta de 2 pisos más un pequeño patio exterior. La zona B de La Masia consta de dos pisos más un torreón de 4 pisos. A continuación se detalla en la tabla 6.1 y 6.2 para cada piso de cada zona, los distintos espacios con sus metros cuadrados y su uso para la Masia.

¹ Imagen del Plan Especial- Catálogo de masías i casas rurales Ayuntamiento de Peralada

La Masia Zona A			
Plantas	Sala	Uso de la sala	Metros cuadrados
Planta Baja	Sala de les voltes	Entrada, recepción y distribuidor	68,92
	Sala de TV	Sala de TV	27,59
	Dormitorio les voltes	Dormitorio habilitado para discapacitados	37,71
	Entrada secundaria	Guarda maletas	18,58
	Sala de los arcos	Comedor principal	60,42
	Sala chimenea	Sala de estar	38,14
	Baños	Baños	4,34
	Cocina	Cocina y despensa	44,77
	Patio de los naranjos	Patio exterior	132
Planta primera	Distribuidor	Distribuidor a los dormitorios	27,06
	Suite	Dormitorio	49,76
	El pou	Dormitorio	38,73
	El llac	Dormitorio	24,16
	Sala grande	Sala de reuniones y billar	79,47
	Galería	Galería	55

Tabla 6.1: Descripción de los espacios de La Masia Zona A

La Masia Zona B			
Plantas	Sala	Uso de la sala	Metros cuadrados
Planta baja	Entrada	Entrada secundaria	33
	Lavandería	Lavandería	17,23
	Taller/Garaje	Sala de mantenimiento	56,98
	Sala calderas	Sala calderas	11,96
	Apartamento	Casa de guardas	65
Planta primera	Habitación 1	Dormitorio	34,34
	Habitación 2	Dormitorio	34,34
	Habitación 3	Dormitorio	41,88
	Distribuidor	Distribuidor	33
Torreón	Habitación 4	Habitación de servicio	33
	Sala de pintura	Sala de pintura	33

Tabla 6.2: Descripción de los espacios de La Masia Zona B

El Anexo también es de construcción más reciente data del 1980. Originalmente el Anexo eran cuartos, pero está en proceso de rediseño y su futuro uso será para habitaciones del hotel. La tabla 6.3 muestra las distintas salas, su uso y los metros cuadrados.

Anexo			
Plantas	Sala	Uso de la sala	Metros cuadrados
Planta baja	Habitación 1	Habitación	25,6
	Habitación 2	Habitación	27,60

Planta baja	Habitación 3	Habitación	26,55
	Habitación 4	Habitación	32,10
	Habitación 5	Habitación	31
	Habitación 6	Habitación	54,06
	Habitación 7	Habitación	33,05
	Habitación 8	Habitación	32,40
	Habitación 9	Habitación	33,40
	Sala de estar	Sala de estar	47,05
	Comedor	Comedor	70,55
	Porche	Porche	46,80
	Sala caldera	Sala caldera	11,60
	Baños	Baños	14,75
	Oficina	Oficina	10,65

Tabla 6.3: Descripción de los espacios del Anexo

6.1. Establecimiento de las bases.

Una vez conocemos el emplazamiento y las infraestructuras del hotel, se ha de conocer la situación de la instalación eléctrica actual. La instalación eléctrica en el Anexo es prácticamente inexistente, los pocos enchufes que hay no están operativos, y los cables o bien están rotos o se han robado. Entonces, se procederá a realizar una instalación eléctrica completamente nueva.

La Masia, consta de una instalación eléctrica muy básica, con pocas cargas por circuito y una agrupación de estas desordenada y poco lógica. Para la realización de la instalación eléctrica en esta parte del hotel, se adaptará la nueva instalación con la ya existente intentando aprovechar todo lo posible sin perjudicar la calidad de la instalación. También se ordenará dentro de lo que se pueda, la agrupación de cargas por circuito. Para hacer esto, se procederá como si se hiciera una instalación eléctrica nueva con la limitación de que no podremos escoger libremente la distribución de todas las cargas en los circuitos.

Para esta parte se seguirán estas ideas:

- Conocer la distribución actual de las cargas.
- Añadir los circuitos nuevos necesarios a la instalación.
- Añadir las cargas nuevas, a los circuitos ya existentes y los circuitos nuevos.
- Ordenar dentro de lo posible las cargas (recolocación de las cargas existentes en otros circuitos). Para obtener una distribución más equilibrada y lógica.
- Realizar los cálculos necesarios (sección de los conductores, caída máxima de tensión y protecciones) para toda la instalación.
 - Comprobar que la instalación existente cumple con los requisitos calculados.
 - Para la instalación nueva, escoger los componentes de la instalación acorde con los cálculos realizados.

En el Anexo C Tablas C.1 hasta C.3 se detalla, la instalación eléctrica ya existente, con todos los circuitos originales y las cargas de estos circuitos. Comparando estas tablas con las C.4 hasta la C.6 podemos ver cómo se ha combinado la instalación eléctrica existente con la nueva.

La instalación eléctrica exterior es inexistente, se procederá a hacer una instalación completamente nueva. Esta incluirá la iluminación exterior de jardín y fachada, sistema de bombeo para riego, bombeo y depuradora de la piscina, grupo de presión de agua y alguna carga móvil. Con estas tres partes completamos la instalación eléctrica del hotel.

7. Normativa aplicable

Para este proyecto se ha tenido en cuenta el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) del Real Decreto 842/2002 del 2 de agosto. En particular se han aplicado las siguientes Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC):

- ITC-BT-01: Terminología.
- ITC-BT-02: Normas de referencia en el REBT.
- ITC-BT-04: Documentación y puesta en servicio de las instalaciones.
- ITC-BT-07: Redes subterráneas para distribución en baja tensión.
- ITC-BT-08: Sistemas de conexión del neutro y masas.
- ITC-BT-09: Alumbrado exterior.
- ITC-BT-10: Previsión de cargas para suministros de baja tensión.
- ITC-BT-12: Instalaciones de enlace. Esquemas.
- ITC-BT-15: Derivaciones individuales (DI).
- ITC-BT-17: Dispositivos generales e individuales de mando y protección. Interruptor Control de Potencia.
- ITC-BT-18: Puestas a tierra.
- ITC-BT-19: Prescripciones generales de las instalaciones interiores o receptoras.
- ITC-BT-20: Sistemas de instalación de las instalaciones interiores o receptoras.
- ITC-BT-21: Tubos y Canales protectoras.
- ITC-BT-22: Protección contra sobreintensidades.
- ITC-BT-23: Protección contra sobretensiones.
- ITC-BT-24: Protección contra los contactos directos e indirectos.
- ITC-BT-25: Viviendas. Numero de circuitos y características.
- ITC-BT-26: Viviendas. Prescripciones generales de instalación.
- ITC-BT-27: Locales que contienen una bañera o ducha.
- ITC-BT-31: Piscinas y fuentes.
- ITC-BT-43: RECPTORES. Prescripciones Generales.
- ITC-BT-44: Receptores para alumbrado.

El REBT sigue las normas UNE (Unión Norma Española), UNE-EN (Unión Norma Española - European Norm), UNE-HD (Unión Norma Española - Harmonization Document), EN (European Norm) y CEI (Comisión Electrotécnica Internacional) específicas a cada ITC. Esto consta en la ITC-BT-02.

Las ITC's que no constan aquí no se han considerado, debido a que no entra en el campo de aplicación de este proyecto o bien es responsabilidad de la empresa suministradora de electricidad o de otro proyecto como por ejemplo instalación térmica. A lo largo de esta memoria, se citará las ITC's y los apartados aplicados de esta cuando se crea oportuno. En caso de no citarse una ITC su normativa seguirá siendo cumplida.

8. Instalación eléctrica: descripción y diseño

En este capítulo se establecerá la configuración espacial de los elementos (arquitectura de la instalación). Conociendo las cargas su cantidad, su distribución en cada circuito, y como los cuadros de distribución se conectan entre sí, se calculará la potencia a instalar y el consumo de cada parte de la instalación. Seguidamente se determinará los conductores a utilizar para cada circuito de cada cuadro.

A continuación, se procederá a hacer segura la instalación eléctrica, para esto se diseñará la instalación toma tierra y se escogerá las protecciones eléctricas contra contactos eléctricos, sobrecargas y cortocircuitos. Finalmente se explicará cómo será la conexión de la instalación eléctrica a la red de BT.

8.1. Arquitectura de la instalación eléctrica

La arquitectura de una instalación eléctrica incluye: la configuración espacial de los elementos (cargas, cuadros de distribución, tomas tierra etc.), la elección de fuentes de alimentación, la definición de diferentes niveles de distribución, el diagrama unifilar de la instalación y la elección de los equipos eléctricos.

En el anexo B podemos encontrar varios planos realizados en AutoCAD® donde se muestra cómo se distribuyen las cargas de iluminación y enchufes en el hotel, también incluye la posición de los cuadros de distribución, y la instalación toma tierra. Para este último se muestra la posición de las picas de cobre y el anillo conductor enterrado.

Fuente de Alimentación: Para alimentar el hotel, éste se ha de conectar a la red de BT. En el apartado 8.6 de este capítulo se explica en detalle cómo realizar dicha conexión y que parte de esta conexión es responsabilidad de este proyecto. El resto de esta conexión cae bajo la responsabilidad de la empresa suministradora.

Se ha optado para seguir una distribución de tipo “red en árbol” o jerárquica. Esta red de conexión parte de una rama principal y va ramificando a distintos nodos, en este caso cuadros de distribución. Se trata de una red en árbol bastante plana o poco profunda ya que existen pocos niveles jerárquicos. Al diseñar la estructura de distribución se ha procurado minimizar los metros de conductor total en la instalación. Esto se consigue escogiendo la cantidad de cuadros de distribución, su posición y su nivel jerárquico. Para La Masia no se ha podido escoger la ubicación de los cuadros de distribución ya que éstos ya existen, y todos los tubos empotrados de los circuitos van a parar a estos cuadros. Se

ha podido escoger la ubicación del cuadro de distribución del Anexo y el exterior. La figura 8.1 muestra esta red de conexión en árbol, donde se aprecia los distintos niveles jerárquicos y cada cuadro de distribución en la instalación.

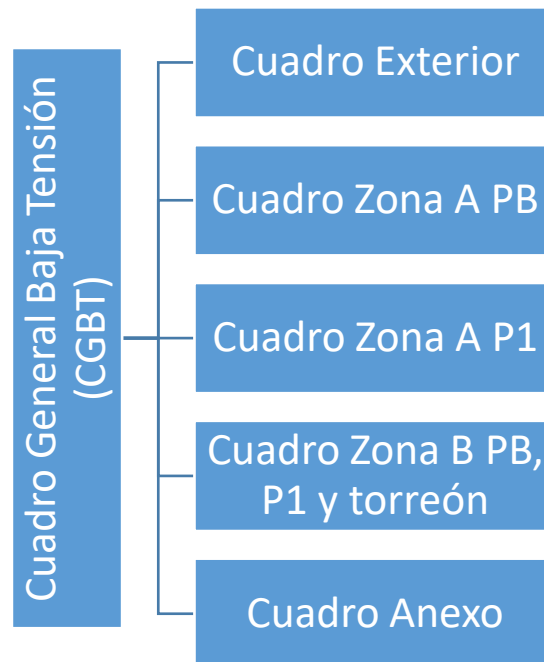


Figura 8.1: Distribución jerárquica de los cuadros de distribución

Esta estructura es una simplificación del esquema unifilar de la instalación. En el Anexo B se encuentran los esquemas unificables de toda la instalación eléctrica, están ordenados según el nivel jerárquico de la instalación siendo el nivel 1 el Cuadro General de Baja Tensión (CGBT) y el nivel 2 el resto de cuadros.

Para la elección de todos los componentes eléctricos en la instalación, se ha tenido en cuenta los requisitos que estos deben cumplir (explicados en detalle en los apartados 8.3, 8.4 y 8.5) su valor económico, y la recomendación de la empresa instaladora con la que este proyecto colabora. En las tablas 8.1, 8.2 y 8.3 se muestra el listado de los equipos eléctricos escogidos para esta instalación.

Conductores Eléctricos

Conductor	Aislante	Color	Longitud (m)	Sección (mm ²)	€/m	€
H07V-K	PVC	Negro (fase A)	108	1,5	0,25	27,00
H07V-K	PVC	Negro (fase A)	109	2,5	0,4	43,60
H07V-K	PVC	Negro (fase A)	74,5	4	0,63	46,94
H07V-K	PVC	Negro (fase A)	38,5	6	0,93	35,81
H07V-K	PVC	Negro (fase A)	23	10	1,61	37,03
...
RV-K	XLPE	Negro, gris, marrón, azul y amarillo/verde	30	5G4	5,408	162,24
TOTAL	-	-	3051	-	-	8518,77

Tabla 8.1: Parte de los conductores eléctricos de la instalación.²

- Conductor: Designación del conductor según las normas UNE.
- Aislante: Tipo de aislante que recubre el conductor.
- Color: Color del conductor que se asigna a la fase, al conductor neutro y el conductor toma tierra.
- Columna metros: metros totales para ese tipo de conductor.
- Sección: sección del conductor en mm². Para los conductores donde aparezca 3xX o 4GX, el “3x” indica que hay 3 conductores en el cable, “4G” indica que hay 4 conductores uno de ellos amarillo verde. “X” indica la sección de cada conductor en el cable.

La tabla 8.1 muestra parte de los conductores de la instalación eléctrica. En la tabla se detalla la cantidad de cada tipo de conductor que se va a utilizar y su precio. La tabla completa está en el Anexo A.2.1. En el apartado 8.3 se justifican los cálculos necesarios y el proceso para escoger el conductor requerido.

² La información que figura en la tabla 8.1 así como todas las propiedades de estos conductores viene del catálogo de conductores de Prysmian.

Interruptores magnetotérmicos

Modelo PIAs	Conexión	I_n (A)	N.º de PIAs	€/unidad	Total €
A9K17610	1P+N	10	18	21,55	387,9
A9K17616	1P+N	16	6	21,93	131,58
A9K17620	1P+N	20	1	22,47	22,47
A9K17625	1P+N	25	3	23,01	69,03
A9K17632	1P+N	32	7	50,98	356,86
A9K24640	1P+N	40	2	68,54	137,08
A9F79410	4P	10	1	133,18	133,18
A9F79420	4P	20	2	138,54	277,08
A9F79416	4P	16	1	134,72	134,72
A9F79425	4P	25	1	143,67	143,67
A9F79432	4P	32	1	149,82	149,82
A9F79440	4P	40	1	177,79	177,79
A9F79450	4P	50	1	380,01	380,01
A9N18376	4P	125	1	498,67	498,67
TOTAL					2999,86

- Modelo PIAs: Modelo de los Pequeños Interruptores Automáticos (PIAs), interruptores magnetotérmicos. Estos modelos son de Schneider Electric.
- Conexión: Indica que conductores se han de conectar al interruptor. 1P indicando 1 polo y N el conductor neutro.
- I_n : Intensidad nominal de funcionamiento del interruptor magnetotérmico.
- N.º de PIAs: la cantidad de PIAs del modelo en cuestión en toda la instalación eléctrica.

Tabla 8.2: Interruptores magnetotérmicos escogidos para toda la instalación³³ La información que figura en la tabla viene de los catálogos de precios de Schneider Electric.

La tabla 8.2 muestra todos los interruptores magnetotérmicos de la instalación eléctrica y su precio. Todos los PIAs son de Schneider Electric y las fichas técnicas de estos están en el Anexo E. En el apartado 8.5.1 se explica su función y como se han escogido.

Interruptores diferenciales

Modelo IDs	Conductores	I_n (A)	$I_{\Delta ID}$ (mA)	N.º de IDs	€/unidad	€
A9R60225	2P	25	30	3	70,96	212,88
A9R60240	2P	40	30	6	72,07	432,42
A9R81263	2P	63	30	3	468,22	1404,66
A9R81425	4P	25	30	2	328,68	657,36
A9N18548	4P	120	300	1	710,06	710,06
TOTAL						4074,74

- Modelo IDs: modelo de los Interruptores Diferenciales (IDs). Estos modelos son de Schneider Electric.
- I_n : Intensidad calibre del interruptor diferencial.
- $I_{\Delta ID}$: Intensidad diferencial residual (sensibilidad) del ID.
- N.º. de IDs: la cantidad de IDs del modelo en cuestión en toda la instalación eléctrica.

Tabla 8.3: Interruptores diferenciales escogidos para toda la instalación.⁴

En la tabla 8.3 se muestran todos los interruptores diferenciales que requiere la instalación eléctrica. Estos interruptores que protegen contra los contactos eléctricos son todos de Schneider Electric, su ficha técnica se puede encontrar en el Anexo E. En el apartado 8.5.2 se justifica la elección de estos.

Instalación toma tierra

Anillo conductor	Sección (mm²)	Longitud (m)	€/m	€
Cable rígido desnudo de cobre trenzado	35	50	2,81	140,5

⁴ La información que figura en la tabla viene de los catálogos de precios de Schneider Electric.

Elemento	N.º de elementos	€/unidad	€
Electrodo para red de toma de tierra cobreado con 300 µm. (Pica 2m)	5	18	90
Grapa de conexión	5	1,34	6,7
Caja puente prueba de tierra	2	12,15	24,3
TOTAL			261,5

Tabla 8.4: Todos los elementos de la instalación toma tierra⁵

El resto de elementos que se requieren para completar la instalación eléctrica se pueden considerar secundarios, estos son: tubos corrugados, empalmes para conductores, cajas de registro, cuadros de distribución etc.

Conociendo todos los elementos de la instalación eléctrica se obtiene una visión completa del proyecto. En los próximos apartados de este capítulo se justificará mediante tablas de cálculo todos los componentes comentados en este apartado.

8.2. Potencia a instalar

La potencia a contratar de la empresa suministradora viene determinada por el consumo total de las cargas eléctricas en la instalación. La potencia que consume cada circuito de la instalación determina el dimensionado de los conductores y las protecciones a utilizar. Es esencial entonces conocer lo mejor posible el consumo y la distribución de las cargas en los circuitos, de esta manera se obtendrá una instalación bien diseñada, con un dimensionado seguro, pero no sobredimensionado traduciéndose en un coste extra. Todos los cálculos que se realizan en este proyecto para diseñar la instalación eléctrica se basan en el conocimiento de cada carga y su distribución.

En este apartado se describirá con rigor todas las cargas de la instalación, y se mostrará mediante tablas como se distribuyen estas cargas en cada circuito de cada cuadro de distribución. De esta manera, el funcionamiento de la instalación queda completamente

⁵ Los precios que figuran en la tabla 8.4 son precio referencia que figuran en Generador de Precios de la construcción de CYPE Ingenieros.

determinado y se puede proceder a su diseño.

Cargas de la instalación

Para describir una carga eléctrica en su totalidad en régimen permanente, necesitamos conocer su potencia activa nominal (W), su factor de potencia, su tensión nominal (V) y si es trifásica o monofásica. En caso de conocer la potencia activa máxima de la carga, también debemos conocer su factor de utilización que no es más que el porcentaje de consumo real respecto al consumo máximo de la carga. Con estos datos para cada carga se puede determinar la potencia reactiva de la carga (var), la potencia aparente (VA) y la intensidad nominal (A). Con las cargas definidas, se determinará el funcionamiento eléctrico de los cuadros de distribución. En la tabla 8.5 se detallan todos estos datos para las cargas de la instalación.

Cargas Fijas Interior	Tipo de carga	Ku	Tensión	P activa (W)	cos(φ)	Q reactiva (Var)	S aparente (VA)	Intensidad Total (A)
Bombilla 10W	Monofásica	1	230	10	1	0,0	10,0	0,043
Bombilla 20W	Monofásica	1	230	20	1	0,0	20,0	0,087
Bombilla 30W	Monofásica	1	230	30	1	0,0	30,0	0,130
Clima Anexo	Monofásica R	1	230	15000	0,8	11250,0	18750,0	81,522
Lavadora	Monofásica	1	230	2300	0,8	1725,0	2875,0	12,500
Secadora	Monofásica	1	230	2200	0,8	1650,0	2750,0	11,957
Lavavajillas	Monofásica	1	230	6500	0,8	4875,0	8125,0	35,326
Congelador	Monofásica	1	230	885	0,8	663,8	1106,3	4,810
Horno	Trifásica	1	400	6300	1	0,0	6300,0	15,750
Campana extractora	Trifásica	1	400	3730	0,8	2797,5	4662,5	11,656
Microondas	Monofásica	1	230	850	1	0,0	850,0	3,696
Armario caliente	Monofásica	1	230	2400	1	0,0	2400,0	10,435
Mueble Centr. bajo refr.	Monofásica	1	230	700	0,9	339,0	777,8	3,382
Armario Vert. de refr.	Monofásica	1	230	490	0,9	237,3	544,4	2,367
Horno Apartamento	Monofásica	1	230	1900	1	0,0	1900,0	8,261
Fogones Apartamento	Monofásica	1	230	7400	1	0,0	7400,0	32,174
Nevera/cong. Apartamento	Monofásica	1	230	190	0,8	142,5	237,5	1,033
Extractor Apartamento	Monofásica	1	230	200	0,8	150,0	250,0	1,087
Bomba circulación Askoll ACS	Monofásica	1	230	42	0,8	31,5	52,5	0,228
Bomba rec. Sanitaria	Monofásica	1	230	50	0,8	37,5	62,5	0,272
Cald. Vaillant EcoTec Plus 12-44	Monofásica	1	230	180	1	0,0	180,0	0,783
Cargas Fijas Exterior Iluminación	Tipo de carga	Ku	Tensión	P activa (W)	cos(fi)	Q reactiva (Var)	S aparente (VA)	Intensidad Total (A)
NAUTILIS SPIKE	Monofásica	1	230	11	1	0,0	11,0	0,048
JACKIE	Monofásica	1	230	35	1	0,0	35,0	0,152
FENESTRA	Monofásica	1	230	4	1	0,0	4,0	0,017
DART MEDIUM	Monofásica	1	230	33	1	0,0	33,0	0,143
DART SMALL	Monofásica	1	230	16	1	0,0	16,0	0,070
LITUS 2.0	Monofásica	1	230	6	1	0,0	6,0	0,026
CASTING T	Monofásica	1	230	21	1	0,0	21,0	0,091
CASTING CONCRETE	Monofásica	1	230	9	1	0,0	9,0	0,039
LUXEL	Monofásica	1	230	9,6	1	0,0	9,6	0,042
Cargas Fijas Exterior	Tipo de carga	Ku	Tensión	P activa (W)	cos(fi)	Q reactiva (Var)	S aparente (VA)	Intensidad Total (A)
Instalación piscina	Trifásica	1	400	3500	0,8	2625,0	4375,0	10,938
Instalación riego	Trifásica	1	400	8000	0,8	6000,0	10000,0	25,000
Grupo de presión de agua	Trifásica	1	400	2600	0,8	1950,0	3250,0	8,125
Cargas Móviles	Tipo de carga	Ku	Tensión	P activa (W)	cos(fi)	Q reactiva (Var)	S aparente (VA)	Intensidad Total (A)
Tipo Carga I	Monofásica	1	230	460	1	0,0	460,0	2,000
Tipo Carga II	Monofásica	1	230	1380	1	0,0	1380,0	6,000
Tipo Carga III	Monofásica	1	230	2300	1	0,0	2300,0	10,000
Tipo Carga IV	Monofásica	1	230	3220	1	0,0	3220,0	14,000

- Cargas Fijas: Cargas que se conectan a los circuitos eléctricos y no se desconectan, permanecen siempre en la misma posición.
- Cargas Móviles: Cargas que se conectan en los enchufes, se pueden mover a otros circuitos y son muy variadas.
- K_u : Factor de utilización de la carga.
- P activa: Potencia activa de la carga en (W).
- $\cos(\varphi)$: Factor de potencia de la carga.
- Q reactiva: Potencia reactiva de la carga en (var).
- S aparente: Potencia aparente de la carga en (VA).
- Intensidad total (A): Intensidad nominal que circula por la carga en régimen permanente.

Tabla 8.5: Descripción de las cargas de la instalación eléctrica

A primera vista, puede parecer que la instalación tiene pocas cargas, hay que recordar que se trata de cargas de tipo domésticas, entonces no hay mucha variedad de cargas fijas, pero éstas se repiten en abundancia como puede ser las bombillas o los enchufes. En una instalación industrial se apreciaría más variedad de cargas fijas, pero estas se repetirían menos. Como se puede observar en la tabla 8.5, hay dos tipos principales de cargas, las fijas y las móviles. Se ha decidido estudiarlas por separado ya que las cargas móviles son muy flexibles en su posición y consecuentemente flexibiliza el consumo de los circuitos de la instalación. También estas cargas consumen dentro de un rango de potencia más amplio, es decir un cargador de móvil que se conecta a un enchufe consumirá aproximadamente 12 W mientras que una estufa portable puede llegar a consumir 3kW. Debido a esta variabilidad en las cargas móviles, se ha decidido clasificarlas en cuatro intervalos de potencia. La tabla 8.6 muestra estos intervalos y propone ejemplos de cargas para dichos intervalos.

Rango Intensidad Rango Potencia	Tipo Carga I	Tipo Carga II	Tipo Carga III	Tipo Carga IV
	0-4A 0-920W	4A-8A 920W-1840W	8A-12A 1840W-2760W	12A-16A 2760W-3680W
CARGAS CATEGORIZADAS	Lamparas portátiles	Aspiradora	Secador de pelo	Estufa portable
	Ordenadores portátiles	Microondas	Otros	Carag. Alto consm.
	Cargadores Tablets	Otros		Otros
	Cargadores móviles			
	Televisor			
	Ordenadores fijos			
	Instalación internet			
	Impresora			
	Otros			

Tabla 8.6: Agrupación de cargas móviles por intervalos.

De esta manera, al asignar una potencia a un enchufe en la instalación, se puede pensar que tipo de carga se conectará y conseguir así un estudio de la potencia consumida más real y precisa.

Cuadros de distribución.

Una vez se han descrito todas las cargas de la instalación se procede a determinar que cargas irán conectadas a cada circuito. Como se ha comentado en el apartado 6.1 La Masia ya contiene ciertos circuitos con ciertas cargas. Se ha intentado reordenar algunas de estas cargas para establecer circuitos independientes lógicos y que sigan las indicaciones del REBT. Según la ITC-BT-25 los circuitos independientes tienen que ser de tipo:

- C1: Circuito de distribución interna, destinado a alimentar puntos de iluminación.
- C2: Circuito de distribución interna, destinado a tomas de corriente de uso general.
- C3: Circuito de distribución interna, destinado a alimentar la cocina y horno.
- C4: Circuitos de distribución interna, destinado a alimentar lavadora, lavavajillas y termo eléctrico.
- C5: Circuito de distribución interna, destinado a alimentar tomas de corriente de los cuartos de baño, así como las bases auxiliares del cuarto cocina.

Para electrificación elevada el REBT añade más circuitos del mismo tipo siguiendo ciertas condiciones. Circuito adicional del tipo C1, por cada 30 puntos de luz y circuito adicional del tipo C2 por cada 20 tomas de corriente de uso general. Para el reparto de cargas se ha procurado establecer circuitos independientes del mismo tipo, aprovechando los circuitos ya existentes de La Masia. Para el Anexo esto no ha resultado difícil ya que la instalación se ha hecho completamente nueva, también para el cuadro exterior.

Factores de utilización y simultaneidad

Cuando una instalación eléctrica está en funcionamiento, esta no tendrá todas las cargas eléctricas que la componen funcionando a su potencia nominal simultáneamente. Es por esto que se introduce el factor de simultaneidad (K_s). El factor de simultaneidad se define según la ITC-BT-25 como la relación de receptores conectados simultáneamente sobre el total. Este factor se aplica a circuitos individuales dependiendo de su función y a los cuadros de distribución dependiendo del número de circuitos en el cuadro.

La elección del factor de simultaneidad para cada circuito varia mucha en función de su naturaleza, en circuitos de iluminación es muy normal que las cargas funcionen a la vez, entonces se establece un factor de simultaneidad de 1. Para circuitos con cargas variadas

como pueden ser los enchufes el factor de simultaneidad puede ser muy variado. Para escoger los coeficientes adecuados la mejor opción es conocer bien el circuito, conocer como este normalmente opera y seguir las recomendaciones de la empresa instaladora ya que tienen experiencia en este sector y conocen los valores de simultaneidad de circuitos típicos.

Para establecer el coeficiente de simultaneidad de los distintos cuadros de distribución también se han seguido las recomendaciones de la empresa instaladora y el criterio que utiliza la guía de instalaciones eléctricas de Schneider Electric que sigue la norma CEI 60439. Según esta guía de instalación se sigue el siguiente criterio.

Número de circuitos	Factor de simultaneidad (k_d)
Montajes comprobados completamente 2 y 3	0,9
4 y 5	0,8
De 6 a 9	0,7
10 y más	0,6
Montajes probados parcialmente; seleccione en cada caso	1,0

Figura 8.1: Factor de simultaneidad para cuadros de distribución⁶

El factor de utilización (K_u) se ha definido anteriormente como el porcentaje de consumo real respecto al consumo máximo de la carga. Estos factores vienen normalmente especificados por el fabricante de la carga eléctrica. En caso de no ser así, hay que conocer cómo opera esta carga, cuanto tiempo está en reposo y cuánto tiempo se utiliza a su potencia máxima. De esta manera se puede establecer su factor de utilización. Las cargas que funcionan siempre igual como las bombillas de iluminación tendrán un factor de utilización de 1 mientras que las cargas como motores o máquinas que cambian su funcionamiento mientras operan tendrán factores de utilización diferentes de 1. En la descripción de cargas donde se establece este factor, hay motores que en principio tendrían que tener un factor distinto de 1, pero no es así. Esto se debe a que la ficha técnica del componente eléctrico directamente suministra una potencia de consumo nominal.

Teniendo todo esto en cuenta la tabla 8.7 muestra el cuadro de distribución de la Planta 1 Zona A de La Masia, el reparto de sus cargas en este cuadro y todos los parámetros eléctricos que determinan su funcionamiento (Intensidad $I(A)$, Potencia activa $P(W)$,

⁶ Figura del manual de instalación de Schneider Electric.

Potencia reactiva $Q(\text{var})$ y Factor de potencia $\cos(\varphi)$.

CUADRO DE DISTRIBUCIÓN P1 ZONA A										FACTOR DE SIMULTANEIDAD DEL CUADRO										0,7																
Elemento	C1: Iluminación 1				C2: Iluminación 2				C3: Enchufes 1				C4: Enchufes 2				C5: Enchufes 3				C6: Pasillo y escaleras				C.Distr.											
Bombilla 10W Bombilla 20W Bombilla 30W Tipo Carga I Tipo Carga II Tipo Carga III Tipo Carga IV Potencia Total (W, var, VA) Intensidad Total (A) Cos(φ) Sin(φ)	Ks		1		Ks		1		Ks		0,5		Ks		0,4		Ks		0,35		Ks		0,6													
	Nº	P (W)	Q (var)	S (VA)	Nº	P (W)	Q (var)	S (VA)	Nº	P (W)	Q (var)	S (VA)	Nº	P (W)	Q (var)	S (VA)	Nº	P (W)	Q (var)	S (VA)	Nº	P (W)	Q (var)	S (VA)												
	8	80	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
	16	320	0	320	6	120	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	72	0	72															
	6	180	0	180	6	180	0	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
		0	0	0	0	0	0	0	6	1380	0	1380	13	2392	0	2392	13	2093	0	2093	3	828	0	828												
		0	0	0	0	0	0	0	1	690	0	690	0	0	0	0	2	966	0	966	0	0	0	0												
		0	0	0	0	0	0	0	1	1150	0	1150	2	1840	0	1840	0	0	0	0	0	0	0	0												
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		12291										
580		0		580		300		0		300		3220		0		3220		4232		0		4232		3059		0		3059		900		0		900		8604
2,52				1,30				14,00				18,40				13,3				3,91				17,13												
1,00				1,00				1,00				1,00				1,00				1,00				1,00				17,91								
0,00				0,00				0,00				0,00				0,00				0,00				0,00				18,40								
FASE A	11,99	A	2757,3	W	0	var	1,000	Cos(φ)	0	Sin(φ)																										
FASE B	12,54	A	2884	W	0	var	1,000	Cos(φ)	0	Sin(φ)																										
FASE C	12,88	A	2962,4	W	0	var	1,000	Cos(φ)	0	Sin(φ)																										
TRIFASICO 3 FASES (A,B,C)											Aguas arriba																									

Tabla 8.7: Cuadro de distribución P1 Zona A

Explicación de la tabla 8.7

La tabla muestra todos los circuitos en el cuadro de distribución P1 Zona A. Cada circuito muestra la cantidad de cargas de cada tipo que contiene. Por ejemplo, el circuito 1 que se llama “Iluminación 1” contiene 8 bombillas de 10 (W), 16 bombillas de 20 (W) y 6 bombillas de 30 (W), así lo indica la columna del circuito 1 “Nº”. Dentro de cada circuito se indica también las potencias responsables totales para un mismo tipo de carga, es decir las 6 bombillas de 30 (W) consumen un total de 180 (W), 0 (var) y consecuentemente 180 (VA). Al final de la columna “C1: iluminación Z1” (la columna del circuito), se indica la potencia activa, reactiva y aparente totales para el circuito. Justo debajo se indica la intensidad total que circula por el circuito, y el factor de potencia. También cada circuito tiene su coeficiente de simultaneidad K_s , en el caso del circuito 1 este es de 1 ya que se trata de un circuito de iluminación. También se asigna un coeficiente de simultaneidad a cada cuadro de distribución, este se muestra en la esquina superior derecha de la tabla (0,7).

Los tres colores, amarillo, azul oscuro y verde, representan las tres fases eléctricas. El amarillo siendo la fase A, el azul oscuro la B y el verde la fase C. Cada circuito tiene su intensidad total coloreada con un color, esto representa que ese circuito pertenece a la fase del color. El circuito 1 tiene una intensidad total de 2,52 (A) y pertenece a la fase A (color amarillo). Se ha procurado equilibrar las fases lo máximo posible asignando cada circuito a una fase para que las intensidades totales para cada fase sean lo más parecidas posible. Para tener el máximo juego posible en la asignación de consumo a cada fase, se lleva a cada cuadro de distribución las tres fases, esto supone utilizar un poco más de conductor eléctrico, pero solo en las conexiones entre distintos niveles jerárquicos, es

decir entre cuadros de distribución.

La columna “C.Distr” indica de arriba abajo lo siguiente: Potencia total del cuadro de distribución sin aplicar el factor de simultaneidad del cuadro (0,7), esta es de 12,291 (kVA). Potencia total corregida con el factor de simultaneidad del cuadro, esta es de 8,604 (kVA). Los tres últimos valores son las intensidades totales que circulan por las fases A, B y C respectivamente, sin corregir la potencia con el factor de simultaneidad del cuadro.

Para acabar, debajo de la tabla principal, se muestra la intensidad total, potencia activa total, potencia reactiva total y factor de potencia para cada una de las fases aguas arriba, es decir habiendo aplicado el factor de simultaneidad del cuadro de distribución. También hay una fila asignada a un circuito trifásico. Esta fila se utilizará para las cargas trifásicas que puedan existir en el cuadro de distribución. Indica la contribución aguas arriba que hace por igual sobre las tres fases (siempre y cuando se trate de una carga simétrica). En el cuadro de distribución “PB Zona A” se puede ver el caso de cargas trifásicas.

El resto de cuadros de distribución con su reparto de cargas se encuentran en el Anexo C.

Para el cuadro de distribución exterior, encontraremos un circuito que se llama “Cuadro Piscina”. Este circuito es responsable de alimentar al cuadro de distribución de la piscina. Se ha hecho así ya que se considera que no es necesario entrar en tanto detalle sobre el funcionamiento exacto de los distintos elementos eléctricos que contiene la piscina. Este aspecto sería responsabilidad de la empresa constructora de la piscina más que de este proyecto. De todas maneras, en el Anexo A.1.1 se puede encontrar un esquema sencillo de los elementos eléctricos en un cuadro de distribución de piscina tipo.

Aguas arriba

Con los cuadros en el último nivel jerárquico definidos, hay que llevar todos estos consumos aguas arriba hasta el cuadro de distribución general. Para esto, se ha de tener en cuenta los valores de intensidad, potencia activa y potencia reactiva aguas arriba que figura en cada cuadro de distribución (debajo de la tabla principal de cada cuadro de distribución). Se puede tratar el cuadro de distribución general como otro cualquiera donde sus circuitos son los cuadros de distribución del nivel jerárquico 2. En la tabla 8.8 se muestra el cuadro de distribución general

CUADRO DE DISTRIBUCIÓN CGBT									FACTOR DE SIMULTANEIDAD DEL CUADRO												0,8	
Elemento	C1: C.Distr. PB ZONA A				C2: C.Distr. P1 ZONA A				C3: PB,P1 y torreón ZONA B				C4: C.Distr. ANEXO				C5: C.Distr. EXTERIOR				C.Distr.	
Cuadro de distribución i Potencia Total (kW, kvar, kVA) Intensidad Fase A (A) Intensidad Fase B (A) Intensidad Fase C (A) Cos(φ) y Sin(f) Fase A Cos(φ) y Sin(f) Fase B Cos(φ) y Sin(f) Fase C	Ks	1			Ks	1			Ks	1			Ks	1			Ks	1				
	Nº	P (kW)	Q(kvar)	Si (kVA)	Nº	P (kW)	Q(kvar)	Si (kVA)	Nº	P (kW)	Q(kvar)	Si (kVA)	Nº	P (kW)	Q(kvar)	Si (kVA)	Nº	P (kW)	Q(kvar)	Si (kVA)		
	1	20,27	4,08	20,67	1	8,60	0,00	8,60	1	16,09	2,26	16,25	1	23,88	7,87	25,14	1	6,30	3,69	7,30	77,24	
		20,27	4,08	20,67		8,60	0,00	8,60		16,09	2,26	16,25		23,88	7,87	25,14		6,30	3,69	7,30	61,79	
			37,19				11,99				24,21				36,18					19,52	126,52	
			35,12				12,54				23,28				38,96					21,18	129,62	
			40,51				12,88				24,21				38,01					19,49	129,67	
		0,993		0,114		1,000		0,000		1,000		0,000		1,000		0,000		0,835		0,550		
		0,885		0,465		1,000		0,000		0,926		0,378		0,956		0,293		0,862		0,507		
		0,998		0,070		1,000		0,000		0,999		0,042		0,800		0,600		0,835		0,551		
FASE A	101,22	A	23116	W	2754	var	0,99	Cos(φ)	0,12	Sin(φ)												
FASE B	103,69	A	22208	W	8695	var	0,93	Cos(φ)	0,36	Sin(φ)												
FASE C	103,73	A	22845	W	6880	var	0,96	Cos(φ)	0,29	Sin(φ)												
TRIFASICO 3 FASES (A,B,C)											Aguas arriba											

Aguas arriba

Tabla 8.8: Cuadro de distribución general de baja tensión

La tabla 8.8 muestra el CGBT. Este tiene un funcionamiento muy similar a los sub-cuadros de distribución. El listado de cargas que se observa en la columna elemento, debería contener cada cuadro de distribución. Se ha decidido compactar la tabla y expresar las cargas como “Cuadro de distribución i”, donde la “i” hace referencia a los distintos cuadros. El nombre de cada circuito nos da a conocer que carga (cuadro de distribución) se conecta al circuito. Por ejemplo el circuito 1, “C1: C.Distr. PB Zona A”, tiene conectado el cuadro de distribución de la planta baja zona A de La Masia. La diferencia en este cuadro está en que las cargas que se conectan a los circuitos son trifásicas y no simétricas, por esta razón cada circuito indica tres intensidades totales, una para cada fase. El circuito trifásico 2, tiene 11,99 (A) en la fase A, 12,54 (A) en la fase B y 12,88 (A) en la fase C. Podemos ver que estos valores son similares, lo cual indica que la carga está bien equilibrada.

Finalmente la columna “C.Distr.” indica con el mismo criterio lo mismo que los otros cuadros de distribución. Podemos ver que la potencia total de la instalación eléctrica es de 61,79 (kVA), y las intensidades que circularan por cada fase desde de la derivación individual proveniente del centro de transformación es de 101,22 (A), 103,69 (A) y 103,73 (A) para las fases A, B y C respectivamente.

Justificación de los cálculos

Con las tablas de cálculo ya comentadas, se explica a continuación los cálculos que hay detrás de estas tablas, como se han interpretado las conexiones entre cables y como se ha conseguido mediante cálculos de electrotecnia determinar el funcionamiento de cada uno de los cuadros de distribución. Para que todo esto resulte más fácil de interpretar se han hecho unos dibujos complementarios, donde se aprecia cómo es la conexión entre cuadros y las intensidades que circulan por cada línea conductora. Estos dibujos se encuentran en tres partes, el primero, figura 8.2 muestra la conexión global entre los distintos niveles de

cuadros de distribución. El segundo dibujo, figura 8.3 muestra la conexión de los circuitos del cuadro de distribución PB Zona A con las tres fases A, B y C. La tercera figura (8.4), muestra la conexión que esconde el CGBT entre las fases de los cuadros de distribución. Con estos dibujos las explicaciones son más visuales y fáciles de entender.

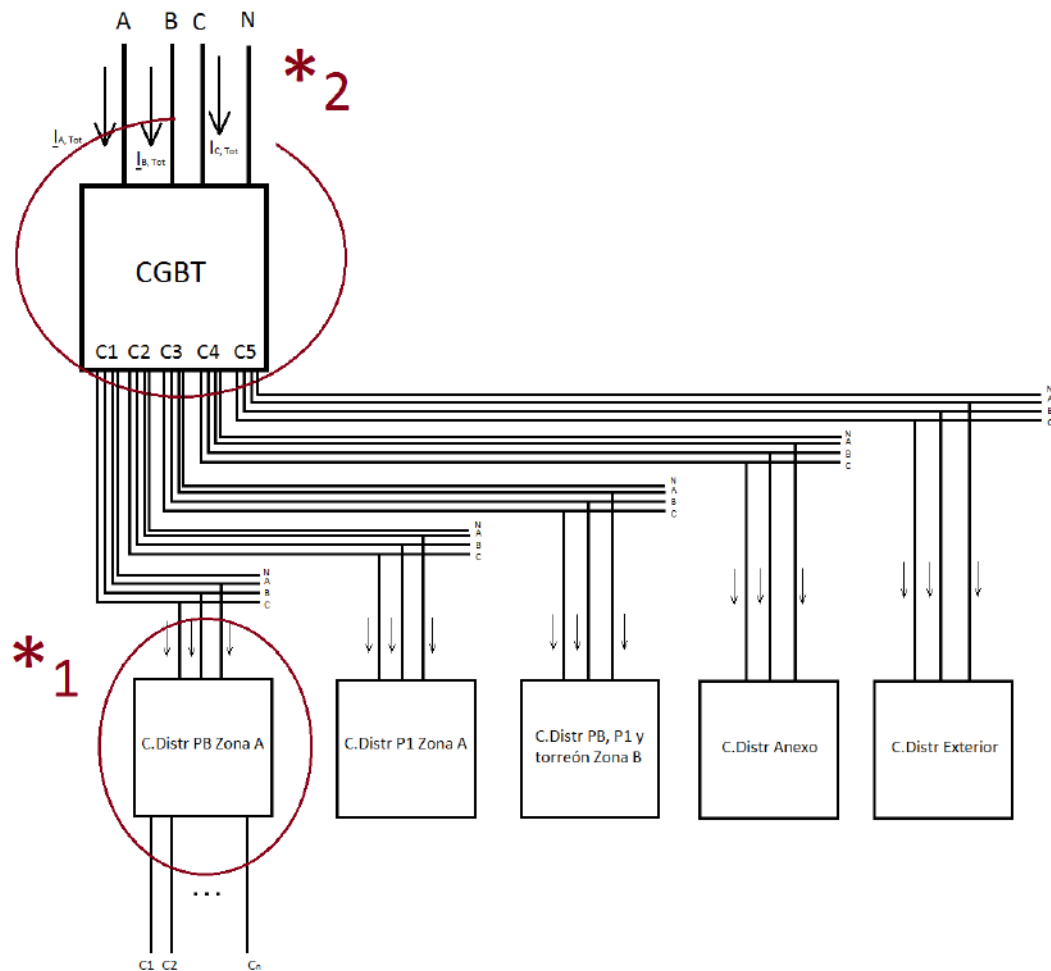


Figura 8.2: Conexión de los cuadros de distribución

Como se ha comentado anteriormente, cada circuito del cuadro general de baja tensión es trifásico y conecta con un cuadro de distribución. Podemos ver que hay 5 circuitos uno para cada cuadro de distribución. Los 5 cuadros de nivel 2, tienen cada uno varios circuitos monofásicos, solo el cuadro de distribución PB Zona A tiene un circuito trifásico. A continuación por razones de practicidad, se mostrarán los cálculos justificativos para el cuadro de distribución PB Zona A que designaremos como cuadro de distribución 1, abreviado de distintas maneras Cd1 y CD1. Los cálculos que veremos son extrapolables a

los otros cuadros de distribución.

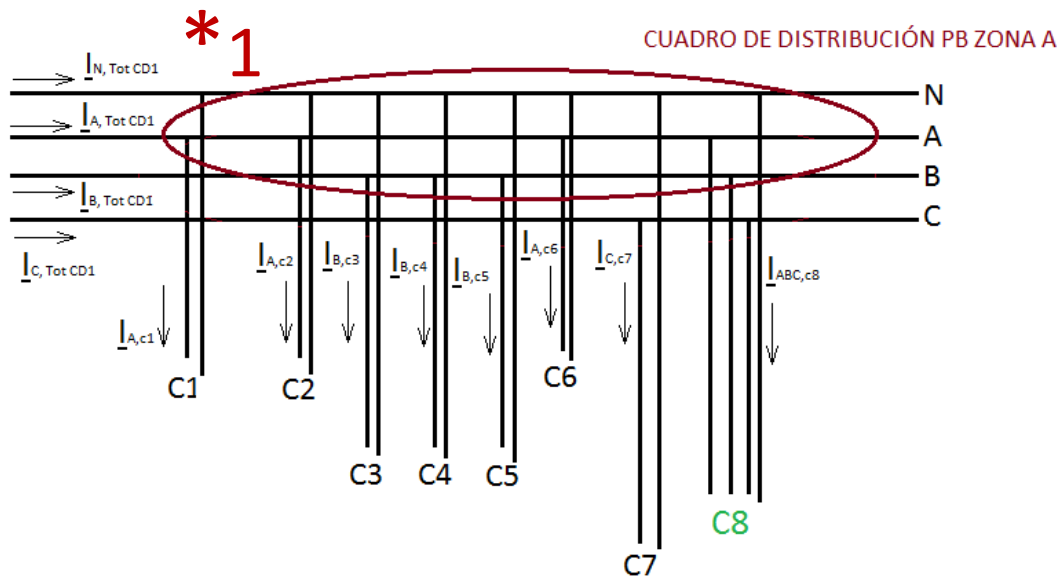


Figura 8.3: Conexión de los circuitos cuadro de distribución PB Zona A

La figura 8.3 muestra que circuito se conecta a cada fase, también se puede ver esto en las tablas de cálculo para este cuadro de distribución en el Anexo C. La justificación de cálculo que sigue en las siguientes paginas está hecho para el cuadro de la figura 8.3 y es extrapolable para los otros cuadros de distribución. De acuerdo a esta conexión, y teniendo en cuenta que a cada circuito se conectan múltiples cargas, primero hay que determinar la potencia aparente total para cada circuito, como un circuito puede tener cargas complejas, la ecuación genérica para obtener la potencia aparente en cada circuito es:

$$P_{Cm} = \left(\sum_{i=1}^n P_{i,Cm} \right) \cdot K_{s,cm} \quad y \quad Q_{Cm} = \left(\sum_{i=1}^n Q_{i,Cm} \right) \cdot K_{s,cm} \quad \text{ec.(1) y ec.(2)}$$

$$S_{Cm} = \sqrt{(P_{Cm})^2 + (Q_{Cm})^2} \quad \text{para } n = N.^{\circ} \text{cargas distintas } m \in [1,9] \quad \text{ec. (3)}$$

Donde m hace referencia a los distintos circuitos del cuadro de distribución y n es la cantidad de cargas distintas para cada circuito. En el caso del circuito trifásico, realizar el cálculo mediante la ec. (1) devuelve la potencia aparente total de las cargas para las tres fases. Para después poder tratarla con el resto de cargas del cuadro de distribución, es mejor saber que carga supone a cada línea A, B y C. Como se trata de una carga simétrica solo hay que dividir la potencia aparente total de esta entre tres, y será igual para cada fase.

$$S_{C8,Fases(A,B,C)} = \frac{S_{C8}}{3} \quad \text{ec. (4)}$$

Recordemos que se ha de multiplicar las potencias de cada circuito por el factor de

simultaneidad del circuito, por esto aparece K_s . Una vez se tiene el módulo de la potencia aparente total, potencia activa total y potencia reactiva total para cada circuito, se procede a calcular las intensidades para cada circuito.

$$I_{cm} = \frac{S_{cm}}{U_{monofásica}} \text{ ec. (5)}$$

Donde $U_{monofásica}$ es igual a 230 (V). En el caso de carga trifásica, podemos utilizar la ec. (5) si utilizamos la potencia que consume cada fase ec. (4). Esta intensidad será también igual para las tres fases. Con las potencias y las intensidades calculadas para cada circuito, se procede a calcular el factor de potencia del circuito.

$$\underline{S}_{cm} = P_{cm} \cos(\varphi) + jQ_{cm} \sin(\varphi) \text{ ec. (6)}$$

$$\cos(\varphi)_{cm} = \frac{P_{cm}}{S_{cm}} \text{ y } \sin(\varphi)_{cm} = \frac{Q_{cm}}{S_{cm}} \text{ ec. (7)}$$

Con estos cálculos, el funcionamiento del circuito queda determinado. A continuación, se decide que circuito va conectado a cada fase y se calcula las potencias e intensidades para cada fase del cuadro de distribución. La figura 8.3, muestra los circuitos 1, 2 y 6 conectados a la fase A. Los circuitos 3, 4 y 5 conectados a la fase B. Los circuitos 7 y 9 conectados a la fase C. El circuito 8 es trifásico y se conecta evidentemente a cada una de las fases. Con apoyo de la figura 8.3 obtenemos:

$$\underline{I}_{A,Cd1} = \underline{I}_{A,C1} + \underline{I}_{A,C2} + \underline{I}_{A,C6} + \underline{I}_{A,C8} \text{ ec.(8)}$$

O lo que es lo mismo:

$$P_{A,Cd1} = \left(P_{C1} + P_{C2} + P_{C6} + \frac{P_{C8}}{3} \right) \text{ y } Q_{A,Cd1} = \left(Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C6} + \frac{Q_{C8}}{3} \right) \text{ ec.(9)}$$

$$I_{A,Cd1} = \frac{\sqrt{(P_{A,Cd1})^2 + (Q_{A,Cd1})^2}}{U_{monofásica}} \text{ ec.(10)}$$

Donde los subíndices A y Cd1 indica la fase y el total del Cuadro de distribución 1 respectivamente. La ec.(6) tendrá más o menos términos de potencia según se conecten más o menos circuitos a la fase. En este caso la fase A tiene 3 circuitos conectados y la carga trifásica. Esta intensidad, es la que aparece en la columna "C.Distr" para la fase A de la tabla de cálculo para este cuadro de distribución, es decir, esta intensidad no considera el coeficiente de simultaneidad del cuadro. Para obtener las intensidades de las otras fases se procede de forma análoga, vigilando que circuitos se conectan a cada fase.

Para obtener las potencias, intensidades y factores de potencia aguas arriba de este cuadro de distribución para cada fase, se ha de corregir la potencia con el coeficiente de simultaneidad del cuadro, esta corrección se indica en las ecuaciones con el subíndice K_s . Con la corrección se obtiene el cuadro debajo de la tabla principal en la tabla de cálculo. Es decir, obtenemos lo que sucede aguas arriba.

$$P_{A,Cd1,Ks} = \left(P_{C1} + P_{C2} + P_{C6} + \frac{P_{C8}}{3} \right) \cdot K_s \text{ ec.(11)}$$

$$Q_{A,Cd1,Ks} = \left(Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C6} + \frac{Q_{C8}}{3} \right) \cdot K_s \text{ ec.(12)}$$

$$I_{A,Cd1,Ks} = \frac{\sqrt{(P_{A,Cd1,Ks})^2 + (Q_{A,Cd1,Ks})^2}}{U_{monofásica}} \text{ ec.(13)}$$

Por último, solo falta calcular el factor de potencia y la potencia total del cuadro de distribución. Al tratarse de un cuadro trifásico donde la carga no es perfectamente simétrica, cada fase tendrá su factor de potencia y la potencia total será un valor aproximado ya que se da como si se tratara de una carga simétrica.

Factor de potencia del cuadro:

$$\underline{S}_{A,Cd1,Ks} = P_{A,Cd1,Ks} \cos(\varphi) + jQ_{A,Cd1,Ks} \sin(\varphi) \text{ ec.(14)}$$

$$\cos(\varphi)_{A,Cd1,Ks} = \frac{P_{A,Cd1,Ks}}{S_{A,Cd1,Ks}} \text{ y } \sin(\varphi)_{A,Cd1,Ks} = \frac{Q_{A,Cd1,Ks}}{S_{A,Cd1,Ks}} \text{ ec.(15)}$$

Para calcular los factores de potencia de las otras fases se procede de manera análoga.

Potencia total del cuadro:

$$|\underline{S}_{Tot,Cd1}| = |\underline{S}_{A,Cd1,Ks} + \underline{S}_{B,Cd1,Ks} + \underline{S}_{C,Cd1,Ks}| \text{ ec.(16)}$$

Esta potencia no se puede utilizar para calcular la corriente, pero en nuestro caso al tener cargas casi equilibradas dará un valor orientativo de la magnitud del consumo y se puede tomar para determinar la potencia a contratar. Todos estas ecuaciones de la ec.(1) hasta la

ec.(16) se puede completar las tablas de cálculo para los cuadros de distribución del nivel 2.

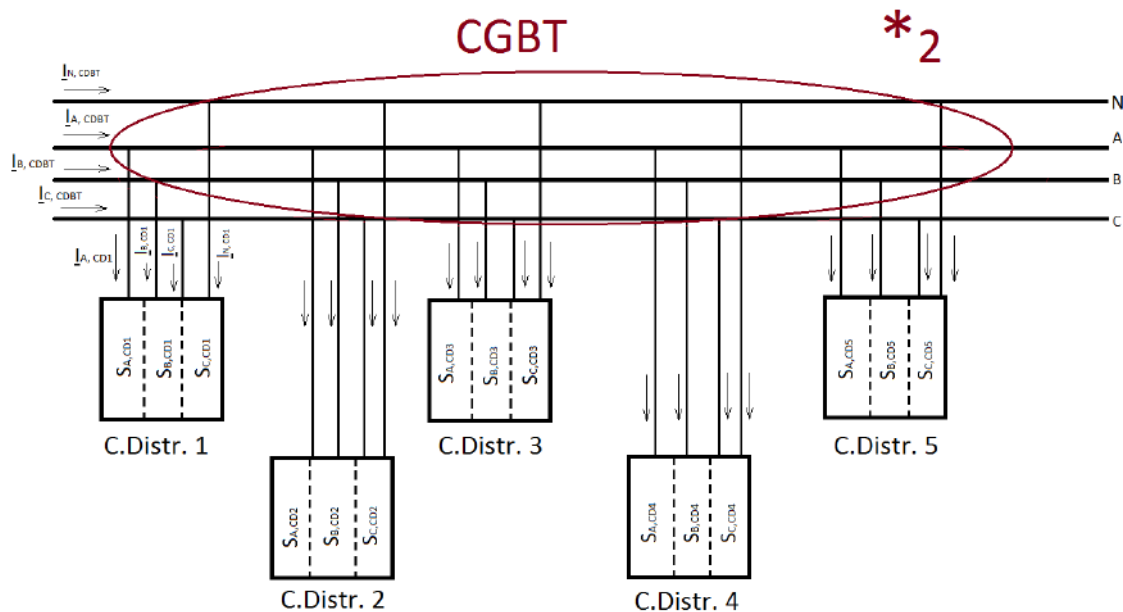


Figura 8.4: Conexión de los cuadros de distribución a CGBT.

La figura 8.4 muestra como se conecta cada cuadro de distribución dentro del CGBT. Apoyandonos en la figura los cálculos necesarios para completar la tabla CGBT pueden resultar más sencillos.

Procediendo en el mismo orden que antes, la potencia total para cada circuito, en este caso ya las hemos calculado. Estas son las potencias aguas arriba de los cuadros de distribución del nivel 2. Es decir, la potencia total aguas arriba del cuadro de distribución PB Zona A, es la potencia total del circuito 1 del CGBT. Lo mismo podemos decir para las intensidades de cada fase de cada circuito y sus factores de potencia. Entonces solo resta calcular los totales y aguas arriba del CGBT.

Para simplificar el nombre de las variables se realiza el siguiente cambio:

$$\begin{aligned}
 I_{A,cd1,Ks} &= I_{A,CD1} & I_{A,cd2,Ks} &= I_{A,CD2} & I_{A,cd3,Ks} &= I_{A,CD3} \\
 I_{A,cd4,Ks} &= I_{A,CD4} & I_{A,cd5,Ks} &= I_{A,CD5} \\
 \cos(\varphi)_{A,cd1,Ks} &= \cos(\varphi)_{A,CD1} & \sin(\varphi)_{A,cd1,Ks} &= \sin(\varphi)_{A,CD1} \\
 P_{A,cd1,Ks} &= P_{A,CD1} & Q_{A,cd1,Ks} &= Q_{A,CD1}
 \end{aligned}$$

Intensidad total para la fase A en el CGBT:

$$|I_{A,CGBT}| = |I_{A,CD1} + I_{A,CD2} + I_{A,CD3} + I_{A,CD4} + I_{A,CD5}|$$

$$I_{A,CD1} = I_{A,CD1} \cdot \cos(\varphi) + jI_{A,CD1} \cdot \sin(\varphi) \text{ ec.(17)}$$

Potencia total para la fase A en el CGBT:

$$|S_{A,CGBT}| = |S_{A,CD1} + S_{A,CD2} + S_{A,CD3} + S_{A,CD4} + S_{A,CD5}|$$

$$S_{A,CD1} = P_{A,CD1} + j \cdot Q_{A,CD1} \text{ ec.(18)}$$

Para las otras fases se procede de manera análoga.

Continuamos calculando la intensidad y la potencia totales por fase del CGBT aguas arriba, para esto se procede con las ecuaciones 13 y 14 pero añadiendo el factor de simultaneidad del cuadro CGBT como se ha hecho en las ecuaciones 8, 9, 10 y 11. Entonces tenemos:

$$|I_{A,CGBT,Ks}| = |I_{A,CD1,Ks} + I_{A,CD2,Ks} + I_{A,CD3,Ks} + I_{A,CD4,Ks} + I_{A,CD5,Ks}|$$

$$I_{A,CD1,Ks} = (I_{A,CD1} \cdot \cos(\varphi) + jI_{A,CD1} \cdot \sin(\varphi)) \cdot K_{s,CGBT} \text{ ec.(19)}$$

$$|S_{A,CGBT,Ks}| = |S_{A,CD1,Ks} + S_{A,CD2,Ks} + S_{A,CD3,Ks} + S_{A,CD4,Ks} + S_{A,CD5,Ks}|$$

$$S_{A,CD1,Ks} = (P_{A,CD1} + j \cdot Q_{A,CD1}) \cdot K_{s,CGBT} \text{ ec.(20)}$$

Por último, solo falta calcular el factor de potencia y la potencia total del cuadro de distribución aguas arriba. Al tratarse de un cuadro trifásico donde la carga no es perfectamente simétrica, cada fase tendrá su factor de potencia y la potencia total será un valor aproximado ya que se da como si se tratara de una carga simétrica.

Para el factor de potencia:

$$P_{A,CGBT,Ks} = (P_{A,CD1,Ks} + P_{A,CD2,Ks} + P_{A,CD3,Ks} + P_{A,CD4,Ks} + P_{A,CD5,Ks}) \cdot K_{s,CGBT}$$

$$Q_{A,CGBT,Ks} = (Q_{A,CD1,Ks} + Q_{A,CD2,Ks} + Q_{A,CD3,Ks} + Q_{A,CD4,Ks} + Q_{A,CD5,Ks}) \cdot K_{s,CGBT}$$

$$|\underline{S}_{A,CGBT,Ks}| = |P_{A,CGBT,Ks} \cos(\varphi) + jQ_{A,CGBT,Ks} \sin(\varphi)| \text{ ec.(21)}$$

$$\cos(\varphi)_{CGBT} = \frac{P_{A,CGBT,Ks}}{S_{A,CGBT,Ks}} \text{ y } \sin(\varphi)_{CGBT} = \frac{Q_{A,CGBT,Ks}}{S_{A,CGBT,Ks}} \text{ ec.(22)}$$

Para la potencia total:

$$|\underline{S}_{Tot,CGBT}| = |\underline{S}_{A,CGBT,Ks} + \underline{S}_{B,CGBT,Ks} + \underline{S}_{C,CGBT,Ks}|$$

$$\underline{S}_{A,CGBT} = P_{A,Tot,Ks} + j \cdot Q_{A,Tot,CGBT,Ks} \text{ ec.(23)}$$

Con todos estos cálculos el funcionamiento de la instalación queda definido. A continuación, se presenta un resumen de los pasos y ecuaciones que se han utilizado para los cuadros de distribución de nivel jerárquico 2. No se ha hecho un resumen del cuadro CGBT ya que este utiliza menos cálculos y ecuaciones.

TABLA RESUMEN

Cuadro de distribución 1 Nivel jerárquico 2			
Potencia total del circuito m, monofásico	Potencia activa, circuito m	Potencia reactiva, circuito m	Potencia aparente, circuito m
	$P_{Cm} = (\sum_{i=1}^n P_{i,Cm}) \cdot K_{s,Cm}$ ec.(1)	$Q_{Cm} = (\sum_{i=1}^n Q_{i,Cm}) \cdot K_{s,Cm}$ ec.(2)	$S_{Cm} = \sqrt{(P_{Cm})^2 + (Q_{Cm})^2}$ ec.(3)
Potencia por fase del circuito 8, trifásico	$P_{C8,Fases(A,B,C)} = P_{C8}/3$	$Q_{C8,Fases(A,B,C)} = Q_{C8}/3$	$S_{C8,Fases(A,B,C)} = S_{C8}/3$ ec.(4)
Intensidad circuito m	Monofásica		Trifásica
	$I_{cm} = \frac{S_{cm}}{U_{monofásica}} \text{ ec.(5)}$		$I_{C8,Fases(A,B,C)} = \frac{S_{C8,Fases(A,B,C)}}{U_{monofásica}} \text{ ec.(5)}$
Factor de potencia circuito m	$\cos(\varphi)_{cm} = \frac{P_{cm}}{S_{cm}} \text{ ec.(7)}$		
Intensidades de	Fase A	Fase B	Fase C

fase total del cuadro de distribución	$I_{A,Cd1} = \frac{\sqrt{(P_{A,Cd1})^2 + (Q_{A,Cd1})^2}}{U_{monofásica}} \text{ ec.(10)}$ <p>Ver también ec.(8) y ec.(9)</p>	Análogo	Análogo
AGUAS ARRIBA			
Potencia total por fase del cuadro de distribución 1 aguas arriba (Ks)	Potencia activa	Potencia reactiva	Potencia aparente
	Fase A		
	$P_{A,Cd1,Ks} = \left(P_{C1} + P_{C2} + P_{C6} + \frac{P_{C8}}{3} \right) \cdot K_s$ <p>ec.(11)</p>	$Q_{A,Cd1,Ks} = \left(Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C6} + \frac{Q_{C8}}{3} \right) \cdot K_s$ <p>ec.(12)</p>	-
	Fase B y C		
	Análogo	Análogo	Análogo
Intensidad total de fase del cuadro de distribución 1 aguas arriba (Ks)	Fase A	Fase B	Fase C
	$I_{A,Cd1,Ks} = \frac{\sqrt{(P_{A,Cd1,Ks})^2 + (Q_{A,Cd1,Ks})^2}}{U_{monofásica}}$ <p>ec.(13)</p>	Análogo	Análogo
Factor de potencia total para cada fase del cuadro de distribución 1 Aguas arriba (Ks)	Fase A	Fase B	Fase C
	$\cos(\varphi)_{A,Cd1,Ks} = \frac{P_{A,Cd1,Ks}}{S_{A,Cd1,Ks}} \text{ ec.(15)}$ <p>Mirar también ec.(14)</p>	Análogo	Análogo
Potencia aparente total del cuadro de distribución 1 aguas arriba	$ S_{Tot,Cd1} = S_{A,Cd1,Ks} + S_{B,Cd1,Ks} + S_{C,Cd1,Ks} \text{ ec.(16)}$		

Tabla 8.9: Resumen de los cálculos aplicados a los cuadros de distribución del nivel jerárquico 2.

8.3. Determinación de los conductores

En este apartado se justificará la elección de los conductores eléctricos. Para esto necesitamos conocer las intensidades que circulan por cada circuito de cada cuadro de distribución (justificado en el apartado anterior), las condiciones en las que irá instalado el conductor y los aspectos técnicos del conductor. Para escoger los conductores se ha respetado la ITC-BT-19, esta instrucción técnica dice que los conductores activos deben cumplir con:

- los conductores activos pueden ser de cobre o aluminio
- La caída de tensión para cualquier circuito interior ha de ser inferior al 3%
- La sección de los conductores neutros será como mínimo igual a la de las fases
- Las intensidades máximas admisibles, se regirán en su totalidad por lo indicado en la norma UNE 20460-5-523

A continuación, se muestra la tabla 8.10 con todos los conductores de la instalación. La tabla muestra de manera esquemática todos los datos con los que deben cumplir los conductores, así como también las condiciones de instalación y los datos necesarios para calcular la caída de tensión. Todos los conductores de la instalación son de cobre, debido a que son más comunes en instalaciones eléctricas interiores y a su mejor conducción de electricidad.

Repasando la tabla 8.10, la columna “C. Disr.” indica los distintos cuadros de distribución. La columna “Conductor” indica el conductor escogido para el circuito en particular. El conductor está designado primero por el número de polos, seguido de la sección y el tipo de aislante. Por ejemplo, el conductor del circuito 2 del cuadro de distribución Anexo es de un polo de sección 6 (mm²) y el aislante es de tipo PVC. También se puede ver la sección del conductor en la columna “Sección”. Las columnas que siguen a “Sección” son datos del circuito y propiedades del conductor necesarios para calcular la caída de tensión. Todos los datos técnicos de los conductores vienen de sus fichas técnicas del catálogo “Cables y Accesorios para Baja Tensión” de Prysmian. La columna “L.conexión (m)” es la longitud del circuito en cuestión en metros, a mayor longitud mayor será la resistencia del conductor y mayor será la caída de tensión. La columna “cos(φ)” es el factor de potencia del circuito. La columna “R(Ω)” y “X(Ω)” son la resistencia y reactancia por metro respectivamente del conductor.

CONDUCTORES DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

														COBRE		
														Conductor	Resistividad (Ωmm2/m)	
														H07V-K	0,01995	
														RV-K	0,0198	
Cdr. distribución	Circuito	FASE	Conductor	Met.Instalación	Max. I(A)	Sección (mm²)	L.conexión (m)	Cos(φ)	Sin(φ)	R (Ω/m)	X (Ω/m)	R (Ω) total	X (Ω) total	ΔU	ΔU(%)	TEST
PB ZONA A	C1	A	1x2,5 PVC	A1	10	2,5	31	1,00	0,00	0,01	0	0,25	0	4,95	2,15	Passes Test
	C2	A	1x1,5 PVC	A1	10	1,5	22	1,00	0,00	0,01	0	0,29	0	5,85	2,54	Passes Test
	C3	B	3x2,5 XLPE	D2	10	2,5	28	1,00	0,00	0,01	0	0,22	0	4,44	1,93	Passes Test
	C4	C	1x4 PVC	A1	25	4	22	1,00	0,00	0,00	0	0,11	0	5,49	2,39	Passes Test
	C5	C	1x4 PVC	A1	25	4	19	1,00	0,00	0,00	0	0,09	0	4,74	2,06	Passes Test
	C6	A	1x6 PVC	A1	40	6	10	1,00	0,06	0,00	0	0,03	0	2,66	1,16	Passes Test
	C7	B	1x6 PVC	A1	40	6	10	0,80	0,60	0,00	0	0,03	0	2,66	1,16	Passes Test
	C8	A,B,C	1x2,5 PVC	A1	16	2,5	10	0,96	0,27	0,01	0	0,08	0	2,21	0,96	Passes Test
P1 ZONA A	C1	A	1x1,5 PVC	A1	10	1,5	25	1,00	0,00	0,01	0	0,33	0	6,65	2,89	Passes Test
	C2	A	1x1,5 PVC	A1	10	1,5	20	1,00	0,00	0,01	0	0,27	0	5,32	2,31	Passes Test
	C3	B	1x2,5 PVC	A1	16	2,5	17	1,00	0,00	0,01	0	0,14	0	4,34	1,89	Passes Test
	C4	C	1x2,5 PVC	A1	20	2,5	12	1,00	0,00	0,01	0	0,10	0	3,83	1,67	Passes Test
	C5	A	1x2,5 PVC	A1	16	2,5	20	1,00	0,00	0,01	0	0,16	0	5,11	2,22	Passes Test
	C6	B	1x1,5 PVC	A1	10	1,5	13	1,00	0,00	0,01	0	0,17	0	3,46	1,50	Passes Test
PB,P1 y torreón ZB	C1	A	1x4 PVC	A1	25	4	22	1,00	0,00	0,00	0	0,11	0	5,49	2,39	Passes Test
	C2	A	1x2,5 PVC	A1	10	2,5	26	1,00	0,00	0,01	0	0,21	0	4,15	1,80	Passes Test
	C3	A	1x4 PVC	A1	16	4	26	1,00	0,00	0,00	0	0,15	0	4,79	2,08	Passes Test
	C4	B	1x2,5 PVC	A1	16	2,5	30	1,00	0,00	0,01	0	0,10	0	3,32	1,44	Passes Test
	C5	C	1x4 PVC	A1	16	4	13	1,00	0,00	0,00	0	0,14	0	4,47	1,94	Passes Test
	C6	A	1x1,5 PVC	A1	10	1,5	28	1,00	0,00	0,01	0	0,09	0	1,86	0,81	Passes Test
	C7	B	1x6 PVC	A1	32	6	7	0,85	0,52	0,00	0	0,01	0	0,85	0,37	Passes Test
	C8	C	1x1,5 PVC	A1	10	1,5	4	0,96	0,28	0,01	0	0,23	0	4,52	1,97	Passes Test
	C9	A	1x1,5 PVC	A1	10	1,5	17	1,00	0,00	0,01	0	0,23	0	4,52	1,97	Passes Test
	C10	C	1x6 PVC	A1	32	6	17	1,00	0,02	0,00	0	0,09	0	5,96	2,59	Passes Test
ANEXO	C1	A	1x2,5 PVC	A1	10	2,5	28	1,00	0,00	0,01	0	0,22	0	4,47	1,94	Passes Test
	C2	A	1x6 PVC	A1	32	6	28	1,00	0,00	0,00	0	0,09	0	5,96	2,59	Passes Test
	C3	A	1x1,5 PVC	A1	10	1,5	24	1,00	0,00	0,01	0	0,32	0	6,38	2,78	Passes Test
	C4	B	1x6 PVC	A1	32	6	24	1,00	0,00	0,00	0	0,08	0	5,11	2,22	Passes Test
	C5	A	1x2,5 PVC	A1	10	2,5	27	1,00	0,00	0,01	0	0,22	0	4,31	1,87	Passes Test
	C6	A	1x2,5 PVC	A1	16	2,5	27	1,00	0,00	0,01	0	0,22	0	6,89	3,00	Passes Test
	C7	B	1x6 PVC	A1	32	6	24	0,80	0,60	0,00	0	0,08	0	5,11	2,22	Passes Test
	C8	C	1x6 PVC	A1	32	6	21	0,80	0,60	0,00	0	0,07	0	4,47	1,94	Passes Test
	C9	C	1x6 PVC	A1	32	6	30	0,80	0,60	0,00	0	0,10	0	6,38	2,78	Passes Test
EXTERIOR	C1	A	3x6 XLPE	D2	10	6	73	1,00	0,00	0,00	0	0,24	0	4,85	2,11	Passes Test
	C2	B	3x4 XLPE	D2	10	4	64	1,00	0,00	0,00	0	0,32	0	6,38	2,78	Passes Test
	C3	A	3x4 XLPE	D2	10	4	52	1,00	0,00	0,00	0	0,26	0	5,19	2,26	Passes Test
	C4	B	3x10 XLPE	D2	10	10	140	1,00	0,00	0,00	0	0,28	0	5,59	2,43	Passes Test
	C5	C	3x10 XLPE	D2	10	10	170	1,00	0,00	0,00	0	0,34	0	6,78	2,95	Passes Test
	C6	A,B,C	5G2,5 XLPE	D2	10	2,5	29	0,80	0,60	0,01	0	0,23	0	4,01	1,74	Passes Test
	C7	A,B,C	5G4 XLPE	D2	20	4	30	0,80	0,60	0,00	0	0,15	0	5,18	2,25	Passes Test
CON. ENTRE CUADR.	C.PB ZA	A	1x10 PVC	A1		10	23	0,99	0,11	0,00	0	0,05	0	4,59	2,00	Passes Test
		B	1x10 PVC	A1	50	10	23	0,89	0,46	0,00	0	0,05	0	4,59	2,00	Passes Test
		C	1x10 PVC	A1		10	23	1,00	0,07	0,00	0	0,05	0	4,59	2,00	Passes Test
	C.P1 ZA	A	1x4 PVC	A1		4	26	1,00	0,00	0,00	0	0,13	0	5,19	2,26	Passes Test
		B	1x4 PVC	A1	20	4	26	1,00	0,00	0,00	0	0,13	0	5,19	2,26	Passes Test
		C	1x4 PVC	A1		4	26	1,00	0,00	0,00	0	0,13	0	5,19	2,26	Passes Test
	.PB.P1 y torreón Z	A	1x6 PVC	A1		6	0,5	1,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0,11	0,05	Passes Test
		B	1x6 PVC	A1	32	6	0,5	0,93	0,38	0,00	0	0,00	0	0,11	0,05	Passes Test
		C	1x6 PVC	A1		6	0,5	1,00	0,04	0,00	0	0,00	0	0,11	0,05	Passes Test
	C.ANEXO	A				25	105	1,00	0,00	0,00	0	0,08	0	6,65	2,89	Passes Test
		B		D1	40	25	105	0,96	0,29	0,00	0	0,08	0	6,65	2,89	Passes Test
		C				25	105	0,80	0,60	0,00	0	0,08	0	6,65	2,89	Passes Test
	C.EXTERIOR	A	1x4 PVC			4	0,5	0,84	0,55	0,00	0	0,00	0	0,12	0,05	Passes Test
		B	1x4 PVC	D1	25	4	0,5	0,86	0,51	0,00	0	0,00	0	0,12	0,05	Passes Test
		C	1x4 PVC			4	0,5	0,83	0,55	0,00	0	0,00	0	0,12	0,05	Passes Test
	CGBT	A	1x35 PVC	D1		35	37	0,99	0,12	0,00	0	0,02	0	5,06	2,20	Passes Test
		B	1x35 PVC	D1	120	35	37	0,93	0,36	0,00	0	0,02	0	5,06	2,20	Passes Test
		C	1x35 PVC	D1		35	37	0,96	0,29	0,00	0	0,02	0	5,06	2,20	Passes Test

Tabla 8.10: Conductores de la instalación eléctrica.

La columna “ ΔU ” es la caída de tensión máxima en el circuito. Esta es la tensión al inicio del circuito menos la tensión del punto más lejano del circuito. La columna “ $\Delta U(\%)$ ” expresa la caída de tensión en tanto por cien, recordemos que ha de ser inferior al 3%. Esta se define como:

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100$$

La caída de tensión se calcula de la siguiente forma:

- Caso monofásico:

$$\begin{aligned} \Delta U &= 2 \cdot (|\underline{U}_{1, fase}| - |\underline{U}_{2, fase}|) \approx 2 \cdot |\underline{U}_{1, fase} - \underline{U}_{2, fase}| = 2 \cdot |\underline{Z} \cdot \underline{I}| = \\ &= 2 \cdot |(R + jX) \cdot \underline{I}| = 2 \cdot I \cdot \sqrt{(R \cdot \cos(\varphi) + X \sin(\varphi))^2 + (R \cdot \sin(\varphi) + X \cos(\varphi))^2} \end{aligned}$$

- Caso trifásico:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} \cdot (|\underline{U}_{1, fase}| - |\underline{U}_{2, fase}|) \approx \sqrt{3} \cdot |\underline{U}_{1, fase} - \underline{U}_{2, fase}| = \sqrt{3} \cdot |\underline{Z} \cdot \underline{I}| = \\ &= \sqrt{3} \cdot |(R + jX) \cdot \underline{I}| = \sqrt{3} \cdot I \cdot \sqrt{(R \cdot \cos(\varphi) + X \sin(\varphi))^2 + (R \cdot \sin(\varphi) + X \cos(\varphi))^2} \end{aligned}$$

La columna “Test” indica si el circuito pasa el test de caída de tensión, de esta manera queda claramente reflejado si se ha de modificar el conductor en un circuito. En caso de que un circuito tenga una caída de tensión superior a este 3%, se procede a aumentar la sección del conductor hasta que pase el test. Se da el caso en la conexión entre cuadros entre CGBT y el Anexo, entonces la sección se aumenta de 4 a 6 (mm²).

La designación comercial de los conductores, siguiendo el catálogo Prysmian es el siguiente:

Conductor en la tabla 8.10	Designación comercial
Conductores con aislante de PVC	H07V-K
Conductores con aislante de XLPE	RV-K

Tabla 8.11: Designación comercial de conductores.

La ficha técnica de los conductores escogidos se puede encontrar en los Anexo E.

Finalmente, el método de instalación indicado en la columna “Met.Instalación” están designados según el tipo de instalación. Estos tipos de instalación los establece el REBT. En el caso del método constructivo A1, el conductor va empotrado en la pared dentro de un tubo corrugado. La figura 8.5 muestra un esquema del método.


Ref.	Modos de instalación	Descripción	Tipo
1		Conductores aislados o cables unipolares en conductos empotrados en paredes térmicamente aislantes.	A1

Figura 8.5: Método de instalación A1⁷

Para el tipo D1 el conductor el conductor multipolar va enterrado en el suelo y está dentro de un conducto cerrado, puede ser tubo corrugado.


70		Cable multiconductor en conductos o en conductos perfilados enterrados.	D
----	---	---	---

Figura 8.6: Método de instalación D1⁸

Para el tipo D2 el conductor unipolar o multipolares con cubierta va enterrado en el suelo.

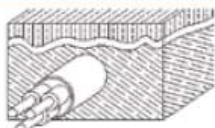
72		Cables unipolares o multipolares enterrados <u>sin</u> protección contra los daños mecánicos complementaria.	D
----	---	--	---

Figura 8.7: Método de instalación D2⁹

Dependiendo del método de instalación que se emplee, la intensidad máxima del conductor variará. En las fichas técnicas de los conductores comerciales utilizados en este proyecto aparecen las intensidades máximas admisibles para el conductor con los métodos de instalación A1, D1 y D2.

⁷ Figura del catálogo de Prysmian

⁸ Figura del catálogo de Prysmian

⁹ Figura del catálogo de Prysmian

8.4. Instalación toma tierra

La toma tierra, es una instalación conductora paralela a la instalación eléctrica principal del edificio, consiste de varios circuitos conductores que van a parar a varios electrodos enterrados en el suelo. A estos circuitos se conectan los aparatos eléctricos del hotel y del propio edificio. Los aparatos eléctricos del propio edificio incluyen toda parte metálica del edificio que pueda acumular carga eléctrica como por ejemplo las tuberías metálicas de drenaje del hotel. El objetivo de la toma tierra es disipar a tierra mediante los electrodos cualquier fuga de corriente que haya cargado un aparato eléctrico de la instalación, protegiendo así a los usuarios contra los contactos eléctricos. En caso de fallar la toma tierra también están los interruptores diferenciales, estos abren el circuito impidiendo el flujo de corriente cuando se detecta una fuga en el circuito, estos se explican en el apartado 8.5.2.

Para el diseño de dicha instalación se ha tenido en cuenta la ITC-BT-18 del REBT. El diseño de la instalación toma tierra consta de dos partes principales. Para la primera parte del diseño se ha de escoger los conductores de los circuitos eléctricos toma tierra que conectan con las cargas de la instalación. Para la segunda parte del diseño se ha de escoger los conductores y electrodos enterrados en el suelo que disipan las corrientes de Figura al suelo.

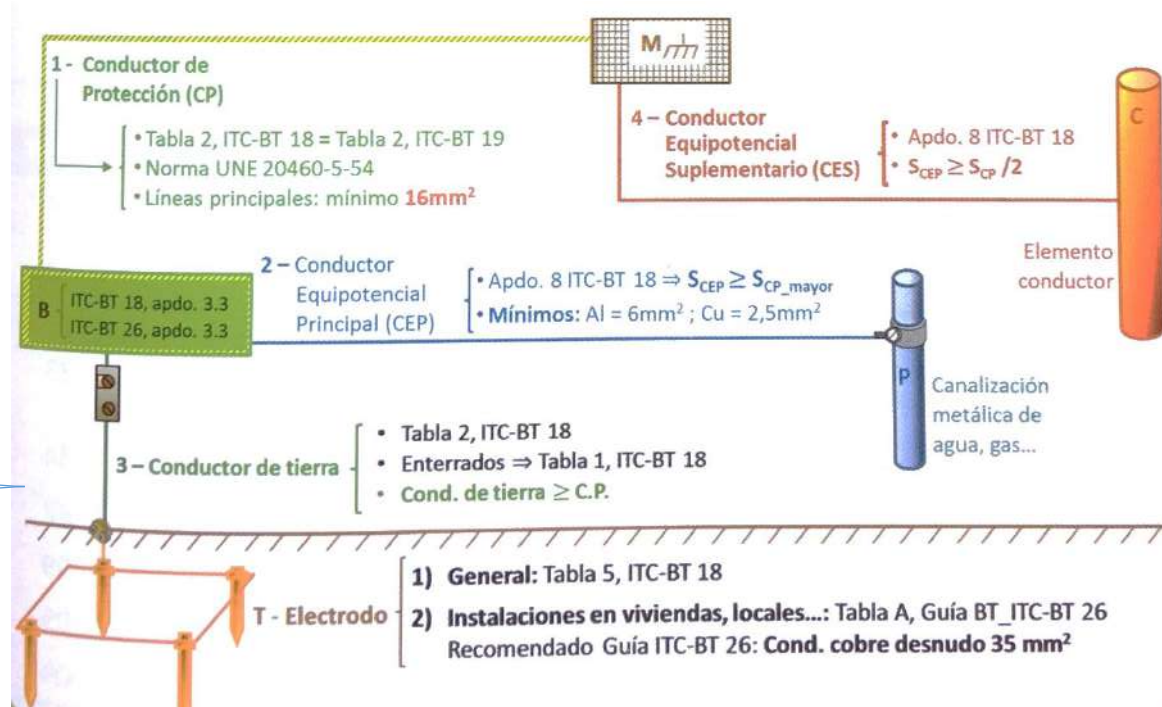


Figura 8.8: Esquema Resumen de la instalación puesta a tierra¹⁰

¹⁰ Figura del REBT 3ª Edición 2016 Benilde Bueno

La figura 8.8 muestra un esquema resumen de lo que se ha de tener en cuenta para diseñar la instalación toma tierra siguiendo la ITC-BT-18. Para la primera parte de la instalación se debe escoger el Conductor de Protección (CP), el Conductor Equipotencial Principal (CEP), el Conductor Tierra (CT) y el Conductor Equipotencial Suplementario (CES).

El CP es el conductor que conecta los aparatos eléctricos de la instalación a la toma tierra. Normalmente cada circuito tendrá un conductor CP, estos se conectarán juntos en un embarrado formando una línea principal CP. La figura 8.9 muestra esta conexión.

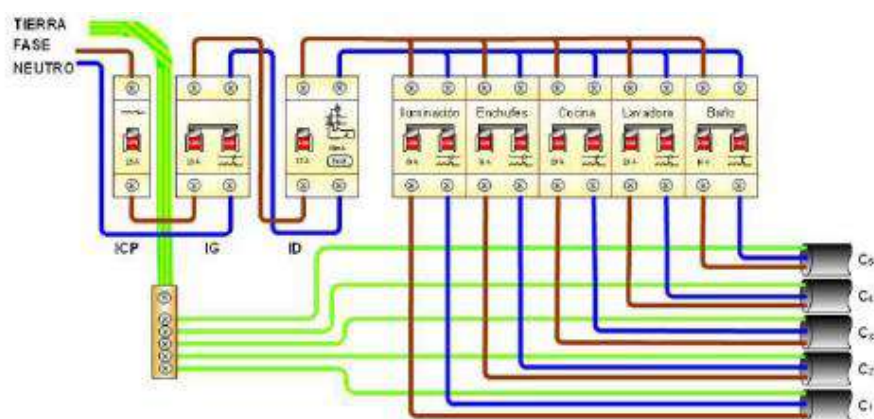


Figura 8.9: Conexión de los CP de circuitos a una línea principal CP

Para calcular la sección necesaria del conductor CP se seguirá la tabla 2 de la ITC-BT-18:

cálculo conforme a lo indicado en la Norma UNE 20.460 -5-54 apartado 543.1.1.

Tabla 2. Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm ²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Si la aplicación de la tabla conduce a valores no normalizados, se han de utilizar conductores que tengan la sección normalizada superior más próxima.

Los valores de la tabla 2 solo son válidos en el caso de que los conductores de protección hayan sido fabricados del mismo material que los conductores activos; de no ser así, las secciones de los conductores de protección se determinarán de forma que presenten una conductividad equivalente a la que resulta aplicando la tabla 2.

En todos los casos los conductores de protección que no forman parte de la canalización de alimentación serán de cobre con una sección, al menos de:

- 2,5 mm², si los conductores de protección disponen de una protección mecánica.
- 4 mm², si los conductores de protección no disponen de una protección mecánica.

Cuando el conductor de protección sea común a varios circuitos, la sección de ese conductor debe dimensionarse en función de la mayor sección de los conductores de fase.

Fuente: REBT ITC-BT-18, tabla 2.

El CEP es el conductor que se conecta a las canalizaciones metálicas del hotel, estas serán normalmente de agua y de gas. Para calcular la sección necesaria de este conductor se seguirá lo siguiente:

$$S_{CEP} \geq \frac{S_{CP \text{ mayor}}}{2}$$

$$\text{Minimos} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Conductor de Aluminio} = 6\text{mm}^2 \\ \text{Conductor de Cobre} = 2,5\text{mm}^2 \end{array} \right\}$$

El CT es el conductor que se conecta del puente seccionador a los electrodos enterrados. Para calcular la sección necesaria de este conductor seguimos:

- En caso de no estar enterrados seguimos la tabla 2 de la ITC-BT-18, (mismos pasos que para CP).
- En caso de estar enterrado seguimos la tabla 1 de la ITC-BT-18 que dice:

3.2 Conductores de tierra

La sección de los conductores de tierra tienen que satisfacer las prescripciones del apartado 3.4 de esta Instrucción y, cuando estén enterrados, deberán estar de acuerdo con los valores de la tabla 1. La sección no será inferior a la mínima exigida para los conductores de protección.

Tabla 1. Secciones mínimas convencionales de los conductores de tierra

TIPO	Protegido mecánicamente	No protegido mecánicamente
Protegido contra la corrosión*	Según apartado 3.4	16 mm ² Cobre 16 mm ² Acero Galvanizado
No protegido contra la corrosión	25 mm ² Cobre 50 mm ² Hierro	
* La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante una envolvente		

Durante la ejecución de las uniones entre conductores de tierra y electrodos de tierra debe extremarse el cuidado para que resulten eléctricamente correctas.

Debe cuidarse, en especial, que las conexiones, no dañen ni a los conductores ni a los electrodos de tierra.

Fuente: REBT ITC-BT-18, tabla 1.

Finalmente, el CES es el conductor que se conecta con los elementos conductores del hotel que se quieran proteger. Estos pueden ser por ejemplo una puerta metálica. Para calcular la sección del CES seguimos:

$$S_{CEP} \geq \frac{S_{CP}}{2}$$

Para la segunda parte de la instalación, se han de diseñar los electrodos. El objetivo en el diseño está en dimensionar el electrodo de forma que la resistencia de tierra, en cualquier caso previsible, no sea superior a R_T . Donde R_T , es la resistencia que da lugar a tensiones de contacto de cualquier masa inferiores a 24 (V) en zonas húmedas esta puede ser menor. Es decir, se dimensionará el electrodo para obtener una resistencia inferior a R_T . La resistencia de tierra R_T depende del tamaño y forma del electrodo, de la resistividad del terreno en el que se establece y varía también con la profundidad.

La resistividad del terreno depende de la naturaleza de este. En la ITC-BT-18, se dan valores orientativos de resistividad de terreno. En el caso de este proyecto el suelo es pedregoso cubierto de césped. La resistividad de este tipo de terreno está entre 300 y 500 ($\Omega \cdot m$). Para ser previsivos se ha tomado una resistividad de terreno de 500 ($\Omega \cdot m$).

A continuación, se tiene que medir la resistencia de tierra, para esto se considera el conjunto conductor enterrado con picas verticales añadidas, o bien, conductor enterrado con placa enterrada añadida. Estas resistencias se asocian en paralelo donde se obtiene:

$$R_T = \frac{R_{cond} \cdot R_{pica}}{R_{cond} + R_{pica}}$$

Siendo las resistencias del conductor, de la pica y de la placa:

$$R_{cond} = \frac{2\rho}{L} \quad R_{pica} = \frac{\rho}{L} \quad R_{placa} = \frac{0,8\rho}{P}$$

- ρ = Resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$).
- L = Longitud de la pica o conductor (m).
- P = Perímetro de la placa conductora (m).

Usualmente las empresas instaladoras, según la empresa instaladora con la que colabora este proyecto emplean valores de resistencia a tierra máximo admisible de 15 (Ω) para edificios con pararrayos y de 37 (Ω) para edificios sin pararrayos. Actualmente La Masia tiene pararrayos, pero se utilizará una R_T máxima admisible de 15 (Ω) por si algún día se decide instalar un pararrayos.

A continuación, se muestran los cálculos de las secciones de los distintos conductores en la instalación toma tierra y el dimensionado de los electrodos. Con esta tabla concluye la

instalación toma tierra.

CONDUCTORES DE PROTECCIÓN (CP)				Tabla 2 ITC-BT-18	
Cdr. distribución	Circuito	Conductor	Sección FASE (mm ²)	Sección CP (mm ²)	Sección CES (mm ²)
PB ZONA A	C1	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C2	1x1,5 PVC	1,5	1,5	0,75
	C3	3x2,5 XLPE	2,5	2,5	1,25
	C4	1x4 PVC	4	4	2
	C5	1x4 PVC	4	4	2
	C6	1x6 PVC	6	6	3
	C7	1x6 PVC	6	6	3
	C8	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
P1 ZONA A	C1	1x1,5 PVC	1,5	1,5	0,75
	C2	1x1,5 PVC	1,5	1,5	0,75
	C3	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C4	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C5	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C6	1x1,5 PVC	1,5	1,5	0,75
PB,P1 y T ZONA B	C1	1x4 PVC	4	4	2
	C2	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C3	1x4 PVC	4	4	2
	C4	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C5	1x4 PVC	4	4	2
	C6	1x1,5 PVC	1,5	1,5	0,75
	C7	1x6 PVC	6	6	3
	C8	1x1,5 PVC	1,5	1,5	0,75
	C9	1x1,5 PVC	1,5	1,5	0,75
	C10	1x6 PVC	6	6	3
ANEXO	C1	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C2	1x6 PVC	6	6	3
	C3	1x1,5 PVC	1,5	1,5	0,75
	C4	1x6 PVC	6	6	3
	C5	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C6	1x2,5 PVC	2,5	2,5	1,25
	C7	1x6 PVC	6	6	3
	C8	1x6 PVC	6	6	3
	C9	1x6 PVC	6	6	3
EXTERIOR	C1	3x6 XLPE	6	6	3
	C2	3x4 XLPE	4	4	2
	C3	3x4 XLPE	4	4	2
	C4	3x10 XLPE	10	10	5
	C5	3x10 XLPE	10	10	5
	C6	5G2,5 XLPE	2,5	2,5	1,25
	C7	5G4 XLPE	4	4	2

Tabla 8.12: Tabla de conductores CP y CES

La tabla 8.12 muestra los conductores escogidos para los CP y los CES. Los conductores se han calculado para cada circuito de los cuadros de distribución del nivel jerárquico 2. En principio no es necesario tener conductores CES para cada circuito, pero se han calculado de todas maneras para si hace falta en un futuro.

CONDUCTORES DE DERIVACIÓN (LINEA PRINCIPAL) Y CONDUCTORES TIERRA (CT)			
CONEXIÓN ENTRE CUADROS	Derivación y línea principal	Sección L.P. mm ²	Sección CT
C.PB ZA	DERIVACIÓN 1	16	16
C.P1 ZA	DERIVACIÓN 2	16	16
C.PB.P1.P2.P3 ZB	DERIVACIÓN 3	16	16
C.ANEXO	DERIVACIÓN 4	25	25
C.EXTERIOR	DERIVACIÓN 5	16	16
DERIVACIÓN =	Máxima sección CP del cuadro	MIN 16 (mm ²)	MIN 16 (mm ²)
	O		Tabla 1
	Línea principal min 16 (mm ²)		ITC-BT 18

Tabla 8.13: Tabla de conductores Líneas principal CP y CT

La tabla 8.13 muestra las secciones de los conductores de las líneas principales (CP) para cada derivación y las secciones de los conductores CT. Podemos ver, que estos quedan determinados por el requisito de sección mínima para todos los casos.

CONDUCTORES EQUIPOTENCIALIDAD (CEP)	
$S_{CEP} \geq \frac{S_{CP,max}}{2}$	5 mm ²

Tabla 8.14: Tabla de conductores CEP

La tabla 8.14 muestra la sección que han de tener los conductores CEP.

A continuación, se mostrará los cálculos realizados para el diseño de los conductores enterrados y los electrodos.

CONDUCTOR COBRE ENTERRADO		
Sanillo (mm ²)	35	Apdo. 3.1 ITC-BT 18
Perimetro del anillo (m)	50	

PLACA CONDUCTORA	
Perimetro placa (m)	6

R _T max (Ω)	Con pararrayos	Sin pararrayos
	15	35

$$R_T = \left(\sum \frac{1}{R_i} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{R_{cond}} + \frac{1}{R_{pica}} \right)^{-1}$$

D.min entre picas = 2·Lpica
Dmin (m)
4

ρ (Ω·m)	L.conductor (m)	L.pica (m)	Nº Picas	R _{cond} (Ω)	R _{pica} (Ω)	R _T (Ω)	Test de Resistencia	ITC-BT 18 Apdo.9
500	50	2	5	20	50	14,285714	Passes Test	

ρ (Ω·m)	Perimetro (m)	R _{placa} (Ω)	Nº Placas	R _T (Ω)	Test de Resistencia
500	6	13,333333	5	13,33333333	Passes Test

Cálculos de dimensionado de los electrodos.

Podemos ver que para cumplir con el valor de resistencia de tierra máximo de 15 (Ω) con una longitud de 50 (m) de conductor de cobre de 35 (mm^2), se necesitan 5 picas de cobre de 2 (m) o bien 5 placas de perímetro 6 (m) estas pueden ser cuadradas. Para el diseño de la instalación se ha optado por utilizar picas de cobre ya que estas son más económicas y fáciles de obtener. La distribución del conductor de cobre enterrado se ha hecho en partes del perímetro del La Masia. En el Anexo B podemos encontrar un plano de AutoCAD® con la posición del conductor enterrado y cada una de las picas. Por último, el anillo conductor se ha de instalar a una profundidad mínima de 0,8 (m) y éste está en contacto directo con la tierra. Las picas se conectan al anillo conductor mediante grapas de conexión.

8.5. Protecciones en la instalación eléctrica

Una vez se ha completado el diseño de la instalación eléctrica, se procede a hacerla segura. Para esto se toman medidas contra cortocircuitos, sobrecargas y contactos eléctricos. En los siguientes subapartados se explican en qué consisten los cortocircuitos, sobrecargas y contactos eléctricos. Se continúa explicando que aparatos de protección se emplean, cómo funcionan estos y como se seleccionan para la instalación del hotel.

8.5.1. Contra sobrecargas y cortocircuitos (PIAs y ICPs IGs)

Los cortocircuitos y sobrecargas, generan un exceso de intensidad en los conductores. Este exceso de intensidad puede llegar a quemar el conductor provocando un posible incendio en el hotel. Para proteger la instalación de cortocircuitos y sobrecargas se utilizan interruptores automáticos. Los interruptores automáticos incluyen protección térmica y protección magnética. La protección térmica consiste en una lámina bimetálica (diferentes metales con diferentes coeficientes de dilatación) que se deforma ante una sobrecarga desconectando el circuito de manera temporizada debido al tiempo que tarda el bimetálico en calentarse. La protección magnética contiene una bobina que al circular cierta intensidad genera un campo magnético atrayendo una pieza metálica que produce la apertura del circuito, de manera instantánea por ser disparo magnético.

Según que proteja el interruptor automático se le denominará de una manera. Los interruptores automáticos responsables de proteger los circuitos individuales reciben el nombre de Pequeños Interruptores Automáticos (PIAs). Los PIAs son en principio los primeros en saltar si se produce una sobrecarga en los circuitos individuales. Se denomina Interruptor General Automático (IG) al interruptor automático que protege al cuadro de

distribución. Finalmente, el Interruptor de Control de Potencia (ICP) es un interruptor automático que protege la instalación eléctrica entera. Este viene instalado por la empresa suministradora y es una manera de controlar que el abonado no consuma más que la potencia contratada. Cuando el interruptor automático actúa y abre el circuito, lo hace o bien por el método térmico o magnético y en un determinado tiempo. Estas características son las curvas de disparo del interruptor.

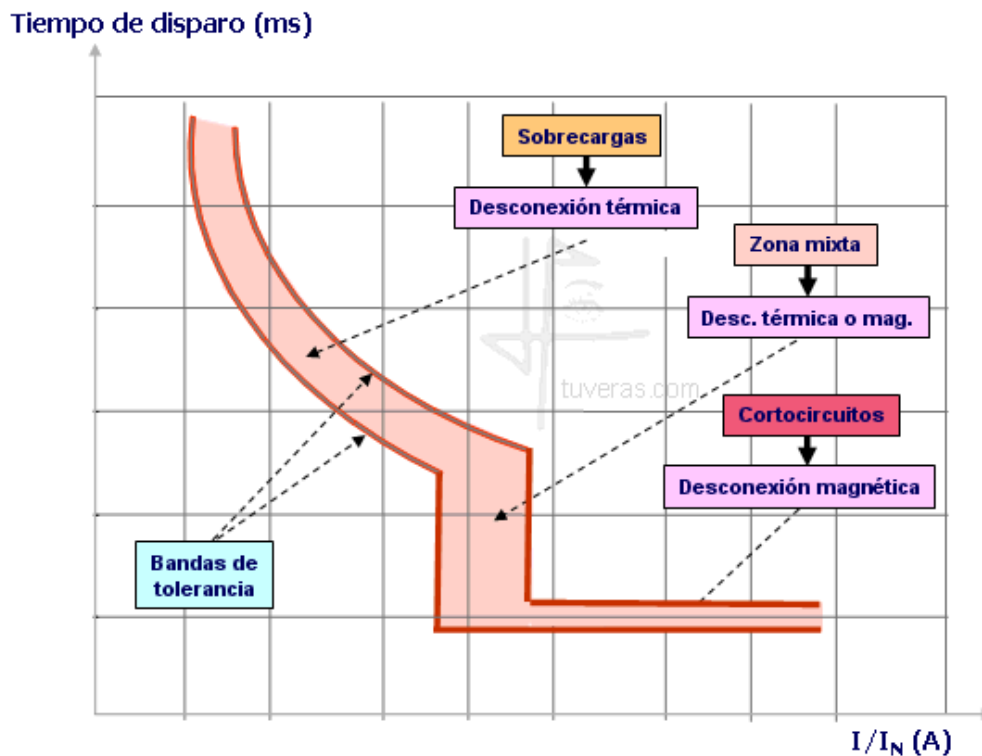


Figura 8.10: Curva de disparo interruptor magnetotérmico.

La figura 8.10 muestra cómo se dispara y con qué tiempo lo hace el interruptor magnetotérmico para diferentes intensidades. También muestra las bandas de tolerancia.

Para la selección de los interruptores automáticos se ha de considerar la intensidad de funcionamiento del circuito, el poder de corte y la curva de disparo que se desea. El poder de corte es la intensidad máxima que puede llegar a cortar sin romperse el interruptor automático. Esta debe ser mayor que la intensidad de cortocircuito máxima prevista y con un mínimo de 4,5 (kA). Para instalaciones domésticas y análogas el REBT ITC-BT-22 recomienda utilizar PIAs y IG con curvas de disparo C, estas se caracterizan por tener una intensidad de disparo magnético de 5 a 10 veces la corriente asignada al PIA. Cuando se produzca una sobrecarga en la instalación primero deberán actuar los PIAs aislando solo la parte de la instalación con el defecto. Solo en el caso de fallo en el PIA o fallo entre el PIA y el IG abrirá el IG. A esto se le llama selectividad y para conseguirlo en este caso se utiliza distintos calibres entre los PIAs y el IG, también se puede conseguir utilizando distintas

curvas de disparo. Teniendo todo esto en cuenta la tabla 8.14 muestra la elección de todos los interruptores automáticos de la instalación eléctrica.

PROTECCIONES CONTRA SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS	Factores	F. corrección	ITC-BT-19
	Temperatura	1	UNE 20460-5-523
	Agrupación circuitos	1	

CUADRO DE DISTRIBUCIÓN PB ZONA A							H07V-K / RV-K
Circuito	Tipo de circuito	I de Línea (A)	Protección del circuito	Modelo	Polos a conectar	I _N de la protección (A)	Conductor
C1	Monofásico	1,91	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x2,5 PVC
C2	Monofásico	1,70	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x1,5 PVC
C3	Monofásico	4,20	PIA	A9K17610	1P+N	10	3x2,5 XLPE
C4	Monofásico	23,40	PIA	A9K17625	1P+N	25	1x4 PVC
C5	Monofásico	19,80	PIA	A9K17625	1P+N	25	1x4 PVC
C6	Monofásico	34,70	PIA	A9K24640	1P+N	40	1x6 PVC
C7	Monofásico	32,11	PIA	A9K24640	1P+N	40	1x6 PVC
C8	Trifásico	15,03	PIA	A9F79416	4P	16	1x2,5 PVC

Todos curva C

CUADRO DE DISTRIBUCIÓN P1 ZONA A							H07V-K
Circuito	Tipo de circuito	I de Línea (A)	Protección del circuito	Modelo	Polos a conectar	I _N de la protección (A)	Conductor
C1	Monofásico	2,52	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x1,5 PVC
C2	Monofásico	1,30	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x1,5 PVC
C3	Monofásico	14,00	PIA	A9K17616	1P+N	16	1x2,5 PVC
C4	Monofásico	18,40	PIA	A9K17620	1P+N	20	1x2,5 PVC
C5	Monofásico	13,30	PIA	A9K17616	1P+N	16	1x2,5 PVC
C6	Monofásico	3,91	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x1,5 PVC

Todos curva C

CUADRO DE DISTRIBUCIÓN PB,P1 y torreón ZONA B							H07V-K
Circuito	Tipo de circuito	I de Línea (A)	Protección del circuito	Modelo	Polos a conectar	I _N de la protección (A)	Conductor
C1	Monofásico	20,52	PIA	A9K17625	1P+N	25	1x4 PVC
C2	Monofásico	6,00	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x2,5 PVC
C3	Monofásico	11,30	PIA	A9K17616	1P+N	16	1x4 PVC
C4	Monofásico	12,00	PIA	A9K17616	1P+N	16	1x2,5 PVC
C5	Monofásico	10,00	PIA	A9K17616	1P+N	16	1x4 PVC
C6	Monofásico	1,57	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x1,5 PVC
C7	Monofásico	28,06	PIA	A9K17632	1P+N	32	1x6 PVC
C8	Monofásico	4,55	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x1,5 PVC
C9	Monofásico	0,96	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x1,5 PVC
C10	Monofásico	25,95	PIA	A9K17632	1P+N	32	1x6 PVC

Todos curva C

CUADRO DE DISTRIBUCIÓN ANEXO							H07V-K
Circuito	Tipo de circuito	I de Línea (A)	Protección del circuito	Modelo	Polos a conectar	I _N de la protección (A)	Conductor
C1	Monofásico	1,48	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x2,5 PVC
C2	Monofásico	31,50	PIA	A9K17632	1P+N	32	1x6 PVC
C3	Monofásico	1,48	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x1,5 PVC
C4	Monofásico	31,50	PIA	A9K17632	1P+N	32	1x6 PVC
C5	Monofásico	1,83	PIA	A9K17610	1P+N	10	1x2,5 PVC
C6	Monofásico	15,40	PIA	A9K17616	1P+N	16	1x2,5 PVC
C7	Monofásico	27,15	PIA	A9K17632	1P+N	32	1x6 PVC
C8	Monofásico	27,15	PIA	A9K17632	1P+N	32	1x6 PVC
C9	Monofásico	27,15	PIA	A9K17632	1P+N	32	1x6 PVC

Todos curva C

CUADRO DE DISTRIBUCIÓN EXTERIOR							RV-K
Circuito	Tipo de circuito	I de Línea (A)	Protección del circuito	Modelo	Polos a conectar	I _N de la protección (A)	Conductor
C1	Monofásico	1,31	PIA	A9K17610	1P+N	10	3x6 XLPE
C2	Monofásico	1,30	PIA	A9K17610	1P+N	10	3x4 XLPE
C3	Monofásico	1,55	PIA	A9K17610	1P+N	10	3x4 XLPE
C4	Monofásico	1,59	PIA	A9K17610	1P+N	10	3x10 XLPE
C5	Monofásico	2,80	PIA	A9K17610	1P+N	10	3x10 XLPE
C6	Trifásico	6,31	PIA	A9F79410	4P	10	5G2,5 XLPE
C7	Trifásico	19,12	PIA	A9F79420	4P	20	5G4 XLPE
Todos curva C							

CONEXIÓN ENTRE CUADROS							H07V-K
Circuito	Tipo de circuito	I de Línea (A)	Protección del circuito	Modelo	Polos a conectar	I _N de la protección (A)	Conductor
C.PB ZA	Trifásico / A	37,19	IGA	A9F79450	4P	50	1x10 PVC
	Trifásico / B	35,12					1x10 PVC
	Trifásico / C	40,51					1x10 PVC
C.P1 ZA	Trifásico / A	11,99	IGA	A9F74920	4P	20	1x4 PVC
	Trifásico / B	12,54					1x4 PVC
	Trifásico / C	12,88					1x4 PVC
C.PB.P1 y T ZB	Trifásico / A	24,21	IGA	A9F79432	4P	32	1x6 PVC
	Trifásico / B	23,28					1x6 PVC
	Trifásico / C	24,21					1x6 PVC
C.ANEXO	Trifásico / A	36,18	IGA	A9F79440	4P	40	4x25 XLPE
	Trifásico / B	38,96					
	Trifásico / C	38,01					
C.EXTERIOR	Trifásico / A	19,52	IGA	A9F79425	4P	25	1x4 PVC
	Trifásico / B	21,18					1x4 PVC
	Trifásico / C	19,49					1x4 PVC
MGDB	Trifásico / A	101,22	IGA	A9N18376	4P	120	1x35 PVC
	Trifásico / B	103,69					1x35 PVC
	Trifásico / C	103,73					1x35 PVC
Todos curva C							

Tabla 8.15: Elección de los interruptores automáticos.

Con estas tablas, quedan definidos todos los interruptores automáticos de la instalación. Solo falta el ICP que es responsabilidad de la empresa suministradora. Todos los interruptores mostrados en la tabla son de Schneider Electric, tienen una curva de disparo C y un poder de corte de 6 (kA). Podemos encontrar las fichas técnicas de los distintos modelos de interruptores automáticos en el Anexo E.

8.5.2. Contra contactos eléctricos (IDs)

Los Interruptores Diferenciales tienen la función de proteger a los usuarios frente a contactos eléctricos. El ID abre el circuito eléctrico cuando detecta una fuga de corriente superior a la sensibilidad del ID. Pueden suceder tres casos: Un usuario toca accidentalmente un aparato eléctrico metálico cargado con una cierta tensión debido a que tiene un fallo en su puesta a tierra, y ocasiona una fuga de corriente. La fuga de corriente es inferior a la sensibilidad del ID, y cuando el usuario toca el dispositivo cargado aumenta la fuga de corriente disparando el ID. Por último, se produce una fuga suficientemente grande como para ser detectada por el ID y este salta directamente. El ID consigue así proteger al usuario de una descarga eléctrica continuada. Los aparatos eléctricos metálicos no deberían estar cargados ya que la toma tierra se encarga de

descargarlos cuando se produce una fuga eléctrica, pero a veces se producen fallos y el ID es entonces necesario.

Según la ITC-BT-25 apdo. 2.1 es necesario utilizar ID que garanticen la protección contra contactos indirectos para cada circuito con una intensidad diferencial-residual máxima de 30mA (sensibilidad). La intensidad asignada al ID tiene que ser superior o igual que la del interruptor general. En caso de utilizarse interruptores diferenciales en cascada estos serán selectivos, es decir primero saltarán los que estén aguas abajo, pudiendo así identificar de manera más sencilla donde se ha producido el fallo. En caso de que los ID aguas abajo no se disparen, o dependiendo de donde se produzca la fuga de corriente, saltarían los ID aguas arriba. Para obtener una configuración en cascada de ID que funcione bien, la ITC-BT-25 hace poner ID aguas arriba con una sensibilidad superior o igual a 3 veces la sensibilidad aguas abajo del ID, es decir,

$$I_{\Delta ID \text{ aguas arriba}} \geq 3 \cdot I_{\Delta ID \text{ aguas abajo}}$$

También la ITC-BT-25 hace poner 1 interruptor diferencial por cada 5 circuitos instalados. En resumen, la incorporación de ID en la instalación eléctrica debe cumplir con:

- $I_{\Delta} \leq 30 \text{ mA}$
- $I_n ID \geq I_n IGA$
- *Si se utilizan varios ID serán selectivos con un mínimo de:*

$$I_{\Delta ID \text{ aguas arriba}} \geq 3 \cdot I_{\Delta ID \text{ aguas abajo}}$$

Teniendo todo esto en cuenta, todos los interruptores diferenciales que se han escogido para esta instalación se muestran en la tabla 8.16. Todos los interruptores diferenciales son de Schneider Electric y podemos encontrar sus fichas técnicas en el Anexo E.

Explicación de la tabla 8.16

La tabla 8.16 contiene 7 columnas. La primera columna indica el cuadro de distribución en el que se encontrará el ID. La segunda columna indica por grupos que circuitos del cuadro de distribución general son protegidos por el mismo ID, para esto, se han juntado los circuitos según la fase a la que pertenecen y comprobando que no pasemos de los 5 circuitos máximos que puede proteger el ID según la ITC-BT-25. La tercera columna indica la intensidad del IGA del cuadro, se ha de cumplir que la intensidad nominal del ID sea igual o superior a esta. La cuarta columna indica el modelo de ID de Schneider Electric. La quinta columna indica los polos que protege el ID, la sexta columna muestra la intensidad nominal del ID y finalmente la última columna muestra la sensibilidad del ID en (mA).

PROTECCIÓN CONTRA CONTACTOS INDIRECTOS						
Cdr. distribución	Circuito	I_{IGA} (A)	Modelo	Polos a conectar	I_{nID} (A)	$I_{\Delta ID}$ (mA)
PB ZONA A	C1 C2 C6	50	A9R81263	2P	63	30
	C3 C7	50	A9R81263	2P	63	30
	C4 C5	50	A9R81263	2P	63	30
	C8	50	-	-	-	-
P1 ZONA A	C1 C2 C5	20	A9R60225	2P	25	30
	C3 C6	20	A9R60225	2P	25	30
	C4	20	A9R60225	2P	25	30
PB,P1 y torreón ZONA B	C1 C2 C3 C6 C9	32	A9R60240	2P	40	30
	C4 C7	32	A9R60240	2P	40	30
	C5 C8 C10	32	A9R60240	2P	40	30
ANEXO	C1 C2 C3 C6	40	A9R60240	2P	40	30
	C4 C7	40	A9R60240	2P	40	30
	C8 C9	40	A9R60240	2P	40	30
EXTERIOR	C1 C3 C2 C4 C5	25	A9R81425	4P	25	30
	C6 C7	25	A9R81425	4P	25	30
MGDB	C.PB ZA	120	A9N18548	4P	120	300
	C.P1 ZA					
	C.PB.P1 y torreón ZB					
	C.ANEXO					
	C.EXTERIOR					

Tabla 8.16: Interruptores diferenciales en la instalación eléctrica.

8.6. Conexión de la instalación a la red de BT

Para conectar el hotel a la red de BT se ha de realizar la instalación de enlace. La instalación de enlace es aquella que une la caja general de protección con las instalaciones interiores o receptoras. El hotel está situado a las afueras de Peralada en una zona rural, entonces la empresa suministradora ha establecido una conexión para un solo usuario. En este caso las instalaciones de enlace se simplifican. Al coincidir en el mismo lugar la Caja General de Protección (CGP) y el equipo de medida, estos se integran juntos y pasan a formar la Caja de Protección y Medida (CPM), de esta manera la Línea General de Alimentación¹¹ (LGA) pasa a ser una derivación individual. En la figura A.1.2 y 8.11 se ilustran estas dos configuraciones de conexión para varios usuarios y usuario individual respectivamente.

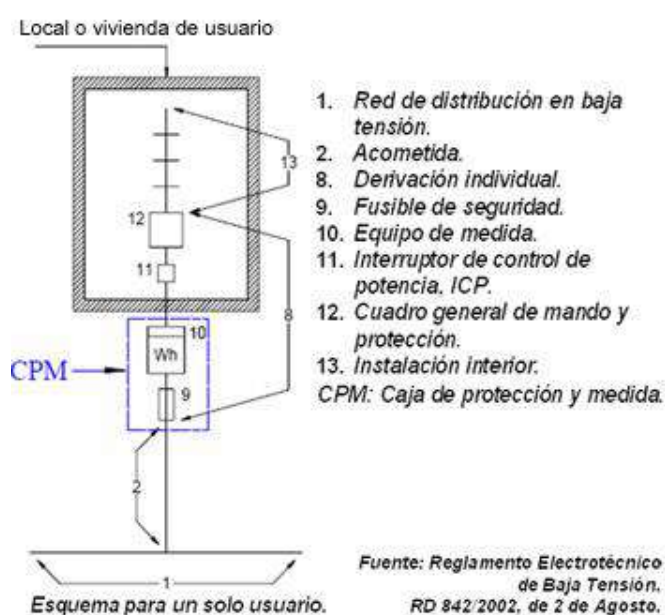


Figura 8.11: Suministración electricidad a BT para un solo usuario

Según la ITC-BT-11 la acometida no forma parte de las instalaciones de enlace, y es responsabilidad de la empresa suministradora. Entonces para la conexión del hotel a la red de BT solo se tiene que determinar el conductor de la derivación individual entre la CPM y los Dispositivos Generales de Mando y Protección (DGMP) que para este proyecto es el

¹¹ Línea General de Alimentación (LGA): Aquella que enlaza la caja general de protección con la centralización de contadores. (ITC-BT-14 Apdo.1)

CGBT. El resto, la acometida la CPM y el Interruptor Control de Potencia (ICP) está bajo responsabilidad del suministrador de electricidad. En el apartado 8.3 se ha justificado la elección de la derivación individual, esta es de sección 35 (mm²) con aislante PVC, el tipo de conductor se conoce comercialmente como H07V-K. Recordamos que las tablas con la elección de todos los conductores en la instalación se pueden encontrar en el Anexo A.2.4

Con la conexión de la instalación a la red eléctrica queda el diseño completamente definido. La siguiente lista resume todos los pasos que se han hecho para diseñar la instalación eléctrica del hotel:

- **Arquitectura de la instalación:** Se ha determinado la conexión entre cuadros de distribución, estos siguen una estructura tipo árbol con 2 niveles jerárquicos. Se ha tabulado todos los elementos que forman parte de la instalación eléctrica (Cuadros de distribución, conductores, protecciones etc.) La elección de estos se justifica en los siguientes apartados.
- **Potencia a instalar:** Se dan a conocer en detalle mediante tablas las cargas eléctricas del hotel. A continuación, se detalla como estas se distribuyen en cada circuito de cada cuadro de distribución y se determina mediante cálculos (mostrados también en tablas) el funcionamiento eléctrico de los cuadros. El apartado acaba con la justificación de los cálculos empleados.
- **Determinación de los conductores:** Con el funcionamiento eléctrico de los cuadros definido se determinan las secciones de los conductores para cada circuito de cada cuadro de distribución. También se considera para el cálculo de sección la caída máxima admisible de tensión en los circuitos. Para acabar se establece el método de instalación para los conductores.
- **Instalación toma tierra:** Se calcula la sección de los conductores toma tierra y de los electrodos enterrados. Esta instalación tiene el objetivo poner a tierra las partes metálicas de la instalación para evitar tener tensión frente a cualquier fallo de aislamiento.
- **Protecciones:** Se procede a hacer segura la instalación eléctrica, para esto se determina los PIA y IGA necesarios para proteger contra las sobrecargas y contactos eléctricos y los ID para proteger contra los contactos eléctricos. Para la determinación de los Interruptores automáticos y los ID se tiene en cuenta las intensidades de funcionamiento de los circuitos el poder de corte y para los ID también la sensibilidad de disparo.
- **Conexión a la red BT:** Con la instalación eléctrica diseñada se procede a conectarla con la red de BT, para esto se tiene en cuenta que parte de la conexión es

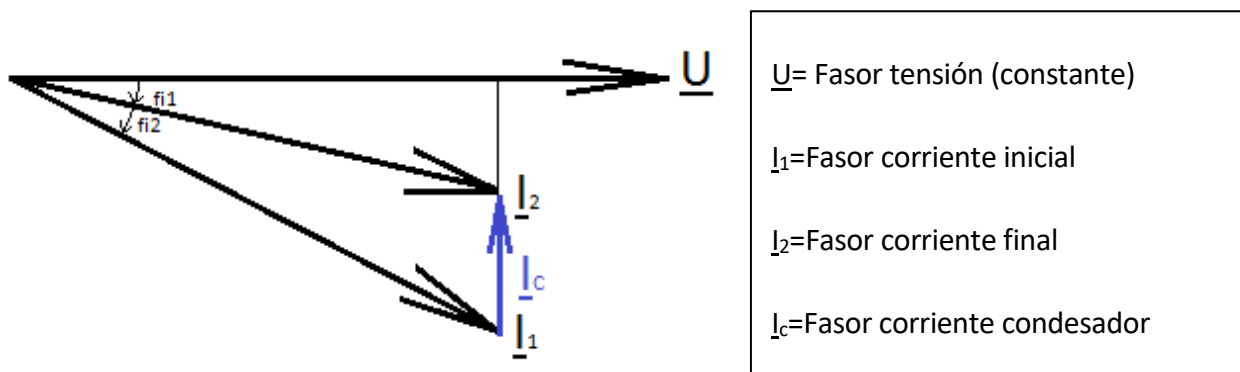
responsabilidad de la empresa suministradora y que es responsabilidad del proyecto. En este caso el proyecto solo se encarga de la derivación individual, conductor calculado en el apartado 8.3.

9. Reducción del factor de potencia

Para optimizar y mejorar el rendimiento de la instalación eléctrica, un factor muy importante a tener en cuenta es la compensación de energía reactiva. La energía reactiva es un tipo de energía eléctrica que absorben algunos equipos eléctricos para crear y mantener campos magnéticos en caso de cargas inductivas y campos eléctricos en caso de cargas capacitivas necesarios para su funcionamiento. Esta energía no se consume por la carga si no que se absorbe y se cede, pero se ha de transportar lo cual supone un coste extra. La compensación de energía reactiva consiste en aumentar el factor de potencia de la instalación consiguiendo así enviar la misma potencia activa a la instalación eléctrica con una intensidad más pequeña. Reducir el factor de potencia se traduce en un ahorro en la factura eléctrica y una optimización general de la instalación ya que esta no se sobredimensionará (un sobredimensionamiento de la instalación se traduce en mayores secciones en los conductores y mayor caída de tensión en los circuitos).

Idealmente el factor de potencia de la instalación ha de ser de 1. Si se sobre compensa el factor de potencia y se tienen condensadores potentes se puede producir un aumento de tensión considerable lo cual puede ser peligroso. Entonces se establece como objetivo compensar a factor de potencia 0,98. En la ITC-BT-48 apartado 2.3 se indican las condiciones que deben cumplir los condensadores, estos deben estar adecuadamente protegidos pudiendo soportar en régimen permanente de 1,5 a 1,8 veces la intensidad nominal asignada.

Para poder compensar la potencia reactiva se ha de utilizar condensadores ya que estos tienen impedancia capacitiva, entonces para transportar una misma potencia activa se tiene:



$$P = U \cdot I_1 \cos \varphi_1 = U \cdot I_2 \cos \varphi_2$$

Como la potencia activa y la tensión son la misma y el factor de potencia aumenta, la intensidad ha de disminuir.

En el caso de este proyecto, el factor de potencia de toda la instalación que se obtiene para las fases A, B y C respectivamente es de 0.99, 0.93 y 0.96. Recordamos que la carga no es completamente simétrica por esto tenemos tres factores de potencia. En este caso, podemos ver que las fases no necesitan mucha compensación. La fase A es prácticamente de carga resistiva con un factor de potencia cercano a 1 sin necesidad de que este sea compensado. La fase B requiere de una compensación de 0,05 y la fase C de 0,02. Las tres fases tienen un consumo prácticamente resistivo y no es necesario realizar ninguna compensación. De todas maneras, a continuación se realizarán los cálculos para compensar individualmente las fases B y C como ejemplo de compensación.

Para calcular que condensador se debe implementar, se ha de considerar las potencias antes y después de la compensación.

Antes:

$$\underline{S}_{Antes} = P_L + jQ_L = P_L + j \frac{P_L}{\cos \varphi_L}$$

Después:

$$\underline{S}_{Después} = P_D + jQ_D = P_L + j \frac{P_D}{\cos \varphi_D} \sin \varphi_D$$

$$\text{Donde: } Q_D = P_L \tan \varphi_L = P_L \tan \varphi_D + Q_{Condensador}$$

$$\text{Entonces: } Q_{Condensador} = P_L (\tan \varphi_L - \tan \varphi_D) \quad X_{Condensador} = \frac{U^2}{Q_{Condensador}}$$

$$\text{Finalmente: } C_{Condensador} = \frac{1}{\omega X_{Condensador}} = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{Condensador}}$$

Realizando estos cálculos para las fases B y C de la instalación donde las potencias activas de estas son 22,208 (kW) y 22,845 (kW) respectivamente y teniendo en cuenta que la frecuencia de las redes eléctricas europeas es de (50 Hz) obtenemos:

- Para la fase B un condensador de $2,57 \cdot 10^{-4}$ (F)
- Para la fase C un condensador de $1,18 \cdot 10^{-4}$ (F)

Para optimizar el factor de potencia de la instalación eléctrica lo máximo posible, se podría proceder a corregirlos también para los sub-cuadros de distribución. La forma en la que se procedería sería análoga a la anterior. El cuadro de distribución que tal vez valdría la pena corregir su factor de potencia es el cuadro de distribución exterior, ya que este tiene un factor de potencia de 0.84, 0.86 y 0.83 para las fases A, B y C respectivamente. De todas maneras, debido a la inversión que supone contra la ganancia que se obtiene, de momento se ha decidido no corregir estos factores de potencia.

10. Detección y filtrado de armónicos

Los armónicos en las instalaciones eléctricas se producen al utilizar cargas no lineales que absorben corrientes no sinusoidales. Estas cargas son cada vez más comunes debido al gran aumento de la electrónica en las cargas de la instalación. Los armónicos son ondas sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de onda fundamental. Es decir, si se tienen una onda fundamental de 50 (Hz) el segundo armónico y el tercer armónico tendrán frecuencias de 100 (Hz) y de 150 (Hz) respectivamente. Toda onda no sinusoidal periódica se puede expresar como la suma entre la onda fundamental y sus armónicos. Estas ondas no sinusoidales periódicas también se denominan armónicos y son responsables de la contaminación eléctrica.

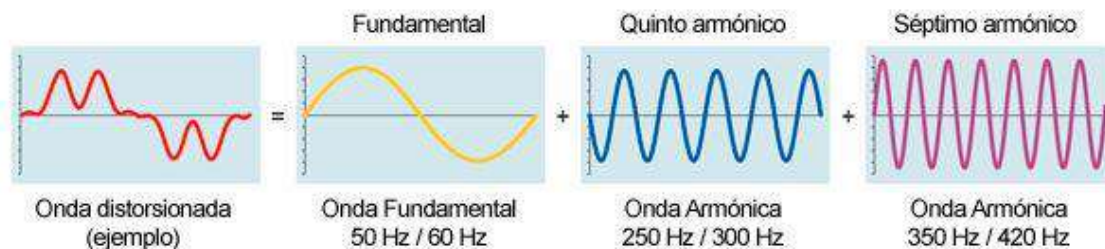


Figura 10.1: Onda distorsionada debido a sus armónicos.

Estas perturbaciones armónicas o contaminación eléctrica pueden tener un impacto considerable en la instalación eléctrica. Los efectos pueden ser:

- Mayor consumo eléctrico.
- Sobrecarga en los conductores eléctricos.
- Aumento de pérdidas por efecto Joule en conductores y máquinas.
- Parada de máquinas en funcionamiento.
- Aumento en la caída de tensión.
- Disparos no justificados de interruptores diferenciales.
- Reducción de la vida útil de un dispositivo.

Hay aún más impactos negativos debido a los armónicos. Por estas razones si se tiene problemas con armónicos conviene solucionarlos.

Para poder cuantificar el problema de armónicos en la instalación primero se ha de definir algunos conceptos básicos, estos son:

Onda fundamental:

La onda fundamental en el caso de redes eléctricas europeas es una senoide de frecuencia 50 (Hz).

- Frecuencia fundamental (f_1): frecuencia de la onda fundamental 50 (Hz)
- Componente fundamental (U_1 o I_1): Tensión o intensidad componente sinusoidal de orden 1 del desarrollo en serie de Fourier de frecuencia igual a la onda fundamental.

Ondas armónicas:

Las ondas armónicas son aquellas cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia de onda fundamental.

- Orden del armónico (n): Numero del armónico, relación entre la frecuencia del armónico y la frecuencia de la onda fundamental
- Componente armónica (U_n o I_n): Tensión o intensidad de la onda armónica n , componente sinusoidal de orden superior a 1 del desarrollo en serie en serie de Fourier de frecuencia múltiplo entero de la frecuencia de la onda fundamental.

Onda distorsionada:

La combinación de la onda fundamental con sus armónicos.

- Tasa de distorsión individual ($U_n\%$ o $I_n\%$): Relación de los valores eficaces de la tensión o corriente armónica y tensión o corriente fundamental

$$U_n\% = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100 \quad I_n\% = \frac{I_n}{I_1} \cdot 100$$

- Valor eficaz total (**TRMS**): Modulo de los componentes totales que forman la onda.

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2} \quad I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}$$

- Tasa de distorsión armónica (**THD**): Relación entre el valor eficaz del residuo armónico y el valor eficaz de la onda fundamental para tensión y corriente.

$$THD(U)\% = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \quad THD(I)\% = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1}$$

Conceptos básicos en el estudio de armónicos¹²

Con estos conceptos se puede interpretar las medidas para el estudio de armónicos.

Para la instalación eléctrica de este proyecto, no existen muchas cargas no lineales, pero si unas cuantas. Estas cargas son:

Cargas monofásicas:

- Potencia P<1 (kW):
Ordenadores personales (PC)
Televisores
Fotocopiadoras
- Potencia P>1 (kW):
Fogones de vitrocerámica
Aire acondicionado

Cargas trifásicas:

- Potencia P>1 (kW):
Bomba de la piscina
Grupo de presión del riego

Para analizar el problema de los armónicos con precisión es necesario utilizar un analizador de redes para tomar las medidas pertinentes y después analizarlas. La problemática de realizar el estudio después de haber implementado la instalación es que se pueden detectar graves problemas con difícil solución una vez construida la instalación. Estos problemas se podrían haber evitado al diseñar la instalación, por lo que es preferible realizar un estudio de los armónicos antes de construir la instalación. En el caso de este proyecto al tratarse de una instalación de tipo vivienda difícilmente nos encontraremos con graves problemas de distorsión armónica. Las cargas que integran la instalación no son

¹² Esta información proviene de la empresa CIRCUTOR: PROCEDIMIENTOS PARA EL ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PERTURBACIONES ARMÓNICAS

muy grandes y no abundan en grandes cantidades como si lo harían en fábricas grandes. De todas maneras, para un estudio previo a la construcción de la instalación eléctrica se puede tener en cuenta las características de las cargas individuales que se conocen y son más contaminantes. Para esta instalación estas serían las cargas mencionadas anteriormente que tienen potencia superior a 1 (kW).

El parámetro clave que nos indicará que tipo de solución debemos adoptar es el THD(U)%. Otro parámetro clave a considerar es la potencia aparente de las cargas no lineales total del CGBT o sub-cuadro de distribución respecto la potencia aparente nominal que nos llega del centro de transformación. En función de estas medidas consideraremos las siguientes soluciones sobre los equipos de compensación:

THD(U)% en PA	$S_{CNL} / S_N^{(TR)}$	Posible solución
< 1,5 %	< 15 %	Equipos estándar
1,5% - 4%	15% - 25%	Equipos reforzados
4% - 6%	25% - 50%	Filtros desintonizados
>6%	> 50%	Filtros sintonizados

Tabla 10.1: Soluciones sobre equipos de compensación al problema de armónicos¹³

Los equipos estándar son condensadores cuya tensión nominal es igual a la de red. Los equipos reforzados son condensadores estándar pero sobredimensionados para evitar su sobrecarga. El filtro desintonizado es un conjunto bobina condensador (LC) sintonizado a 215 (Hz) a ($n=4,3$) que realiza la compensación sin amplificar los armónicos (filtros de rechazo). Finalmente, el filtro sintonizado es un conjunto LC sintonizado a la frecuencia del armónico ($n=5, 7, 11$) que se desea reducir (filtros de absorción).

Desafortunadamente, los proveedores de las cargas que se cree que podrían dar problemas en la nuestra instalación no aportan en su ficha técnica los valores de THD(U)% de todas maneras se prevé que no se obtenga valores de THD(U)% mayores al 1,5%.

Cuando se complete la instalación eléctrica se verificará si efectivamente esta previsión es correcta o se tiene más distorsión de la prevista. Para realizar las medidas de distorsión

¹³ Este criterio de soluciones proviene de: UPC DEPARTAMENTO ING. ELÉCTRICA

armónica se deberá tomar medidas en el Punto de Acoplamiento común (PA), en vacío y en carga. Si se obtiene la misma distorsión en ambos casos, implica que la distorsión proviene de la suministración eléctrica (no debería ocurrir). En caso de que solo se obtenga distorsión armónica en carga, la distorsión es origen de nuestra instalación. En caso de detectar distorsión armónica significativa, se puede proceder a medir la distorsión en los sub-cuadros críticos (aquellos que contengan más cargas no lineales). En función de las medidas que se obtenga se procedería a solucionarlo aplicando el método apropiado.

Para acabar con este apartado, comentar que cuando se realice el estudio de los armónicos se entrará más en detalle sobre cómo proceder con el análisis. Este capítulo es simplemente orientativo y nos da a conocer el problema de los armónicos y como se puede proceder a solucionarlo.

11. Conclusiones

Haber podido realizar este proyecto de instalación eléctrica como primer proyecto de ingeniería es una gran oportunidad de la que he aprendido mucho. Al tener que aprovechar parte de la instalación eléctrica de La Masia ha sido especialmente importante establecer bien las bases para aprovechar al máximo los circuitos ya existentes, lo cual supone un ahorro económico importante.

Para el diseño de la instalación eléctrica, primero se ha dado a conocer todas las partes que finalmente integrarán la instalación. De esta manera obtenemos una visión general del proyecto. En los capítulos que siguen se ha explicado la elección de todas estas partes siguiendo una progresión ordenada. Estos pasos han sido: Describir rigurosamente todas las cargas de la instalación, determinar el funcionamiento de los cuadros de distribución y la potencia a contratar, determinar las secciones de los conductores, diseñar la instalación toma tierra y finalmente determinar las protecciones contra sobrecargas cortocircuitos y contactos eléctricos. Para los cálculos realizados para determinar el funcionamiento de los cuadros de distribución y de caída de tensión en los circuitos ha sido esencial haber utilizado tablas de Excel. Esto ha permitido ir cambiando cargas en la instalación a medida que el proyecto progresaba sin suponer un gran esfuerzo. La potencia total a contratar en la instalación eléctrica que se ha obtenido es de 61,79 (kVA) que para las dimensiones del hotel es razonable. Dado que se paga la potencia contratada sería interesante si se dispusiera de más tiempo, añadir a este trabajo maneras de optimizar la potencia total a contratar.

Con el diseño de la instalación eléctrica completado se ha procedido a estudiar una posible compensación del factor de potencia. Se ha podido ver que el factor de potencia total del CGBT estaba en valores muy aceptables y no es necesario tomar acción. Para todos los sub-cuadros de distribución a excepción del cuadro exterior y la fase B del cuadro Anexo tampoco es necesario tomar acción. Para las excepciones, el coste que supone implementar condensadores no compensa los beneficios de la mejora, por esta razón se ha decidido no compensar los factores de potencia.

Finalmente, se ha planteado como se realizaría el estudio de los armónicos en la instalación y como proceder a solucionarlos en caso de que hubiera distorsiones armónicas en la instalación. Este estudio no se ha podido ejecutar antes de la presentación de este trabajo debido a que la instalación eléctrica no está acabada y consecuentemente no se pueden tomar medidas. En cuanto esté acabada se realizará este estudio para acabar de completar el proyecto.

Como he mencionado en el prefacio, la experiencia es aprendizaje y este proyecto me ha desafiado en muchos aspectos. Me ha introducido en proyectos de instalaciones eléctricas, en como ejercer de proyectista y como encontrar soluciones a problemas con la colaboración de otras personas. Toda esta experiencia ganada, me hace saber que este TFG ha cumplido su objetivo.

12. Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a todas las personas que han hecho posible que se realice este proyecto y me han dado la oportunidad de poder participar.

Agradezco también a mi director del TFG el Dr. Luís Sainz Sopera por sus buenos consejos, sus aportaciones, su paciencia y sus rapidísimas respuestas frente a cualquier cuestión.

Finalmente agradecer a mi familia y amigos por haberme apoyado y animado a poder completar este proyecto.

13. Referencias o Bibliografía

Referencias bibliográficas

REGLAMENTO ELECTROTÉCNICO DE BAJA TENSIÓN (REBT), Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto publicado el 18 de septiembre de 2002.

BENILDE BUENO, Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) 3ª edición, 2013.

GRUPO SCHNEIDER ELECTRIC, Guía de diseño de instalaciones eléctricas, febrero 2008.

GRUPO SCHNEIDER ELECTRIC, Aparamenta Modular, Cofrets Modulares, Tomas Industriales para Baja Tensión Terminal (lista de precios), enero 2015.

GRUPO PRYSMIAN, Cables y Accesorios para Baja Tensión, 2015-2016.

GRUPO CIRCUTOR, Procedimientos para el estudio y análisis de perturbaciones armónicas, 2015.

Bibliografía complementaria

ALBERT F.SPITTA, Instalaciones eléctricas Tomo I, 1978.

ALBERT F.SPITTA, Instalaciones eléctricas Tomo II, 1978.

J. PEDRA. Circuitos monofásicos y trifásicos [en línea]. 2a. edición. Barcelona: Edicions UPC, 1999.